This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Phys 208.31

HARVARD
COLLEGE
LIBRARY

TRAITÉ

ÉLÉMENTAIRE

DE PHYSIQUE,

PAR

ATHANASE DUPRÉ,

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE NORMALE,

PROFESSEUR DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE AU COLLÉGE ROYAL DE RENNES,

ET PRÉCÉDEMMENT AU COLLÉGE DE L'ARC, A DÔLE.

TOME PREMIER.

A RENNES,

CHEZ VATAR, LIBRAIRE,

RUE ROYALE.

1831.

Phys 208.31

Dédié

à mon Epouse.

TRAITÉ

ÉLÉMENTAIRE

DE PHYSIQUE.

PREMIÈRE PARTIE.

DES PROPRIÉTÉS INHÉRENTES A LA MATIÈRE.

La Physique a pour objet la connaissance des propriétés des corps et de leurs effets. Quoique les phénomènes naturels soient très-variés, on n'a cependant reconnu jusqu'à ce jour que quatre propriétés inhérentes à la matière ; elles sont : *l'étendue, la mobilité, l'impénétrabilité* et *l'attraction*. Nous traiterons de ces propriétés dans la première partie de cet ouvrage, et de leurs effets dans les deux dernières parties.

ÉTENDUE.

La propriété que nous remarquons d'abord dans la matière est l'étendue ; les corps occupent tous un certain espace, mais ils n'occupent pas à beaucoup près tout l'espace qu'ils paraissent remplir ; ils renferment au contraire une multitude de petits

vides auxquels on a donné le nom de pores. Il suffit, pour s'en convaincre, de considérer la faculté qu'ont tous les corps de se contracter par le refroidissement; ce qui ne pourrait arriver s'il n'y avait des parties vides qui permissent aux parties pleines de se rapprocher. On peut encore prouver la porosité de certaines substances par d'autres expériences :

1°. On place un œuf un peu vieux dans un vase contenant de l'eau, qui est ensuite posé sous le récipient de la machine pneumatique, et on fait le vide. Après quelques coups de piston, il sort de l'œuf une multitude de petites bulles d'air, qui dans ses diverses parties se succèdent plus ou moins rapidement.

2°. On met dans l'eau une pierre opaque, appelée hydrophane; des bulles d'air s'en dégagent et s'élèvent hors du liquide, abandonnant à l'eau la place qu'elles occupaient dans le corps. Après cette expérience, la pierre est transparente; mais elle reprend son opacité naturelle en se desséchant, et on peut s'en servir de nouveau : l'air y est rentré et en a rempli les pores.

3°. On visse sur la machine pneumatique un tube en cristal, garni convenablement à sa partie inférieure, et terminé à sa partie supérieure par un godet ayant un fond en peau ou en bois mince dont les fibres soient dirigées perpendiculairement; puis on met de l'eau dans le godet, et on fait jouer la machine. Le liquide traverse le fond et tombe dans le tube, où il présente l'aspect d'une pluie très-fine. Quand le fond du vase est en peau, on peut rendre l'expérience plus intéressante en employant du mercure au lieu d'eau.

Les expériences que nous venons d'indiquer ne réussissent jamais avec les métaux, ni en général avec aucun corps ayant une structure uniforme; c'est pour cela qu'on les regarde comme ayant des pores plus petits que ceux des substances organiques.

Divisibilité. Structure des corps. Les corps n'étant pas des masses continues, il est important de chercher, avant d'étudier leurs propriétés, à connaître plus complètement leur structure : la division est un bon moyen pour y parvenir.

Tout le monde sait que les corps sont composés de parties qui peuvent être séparées ; le bûcheron avec sa cognée partage un arbre en plusieurs morceaux, et le serrurier avec sa lime détache d'un morceau de fer un grand nombre de parcelles. La division des corps peut être poussée bien plus loin ; nous allons en donner quelques exemples remarquables :

1°. Un poids de cinq centigrammes de carmin délayé dans de l'eau, est susceptible de colorer très-sensiblement quinze kilogrammes de ce liquide ; et si, après avoir fait un mélange de cette espèce, on en enlève une goutte pesant à peu près cinq centigrammes, on la trouve encore colorée uniformément. Il est d'ailleurs évident que pour que chacune de ses parties visibles renferme du carmin, il faut qu'elle en contienne un grand nombre de parcelles : n'en admettant même que dix dans cette goutte, on serait encore forcé d'en reconnaître trois millions dans le liquide entier ; nombre étonnant, quand on considère la petitesse du volume des cinq centigrammes de carmin employés (un peu moins d'un grain).

2°. Le travail du tireur d'or nous fournira un second exemple : On recouvre avec une quantité de ce métal, qui peut ne pas excéder trois décagrammes (une once environ), un cylindre d'argent, qu'on fait passer ensuite par différentes filières, jusqu'à le réduire en un fil aussi délié qu'un cheveu ; il offre alors une longueur de quatre-vingt dix-sept lieues, de deux mille toises chacune. Dans cet état, le cylindre est encore revêtu d'or sur toute sa surface ; on l'aplatit entre deux cylindres d'acier, et on l'emploie à différens usages. Pour nous former une idée du nombre des parties dans lesquelles cette faible quantité d'or pourrait être divisée, concevons, ce qui est possible à effectuer, qu'on ait limé un peu les deux tranchans de la lame, nous aurons deux couches d'or entièrement séparées, ayant chacune cent onze lieues de longueur ; car la dernière opération produit encore un allongement d'un septième environ. Ces petites couches peuvent être encore partagées en deux ; leur largeur est d'un quart de ligne, et on a vu des instrumens de mathématiques offrir des pouces par-

ATTRACTION.

De toutes les propriétés de la matière, l'attraction est celle qui joue le plus grand rôle dans la nature; on peut l'appeler avec raison l'ame du monde : c'est elle qui produit ces mouvemens si réguliers que nous admirons dans les cieux; c'est elle que le Créateur a établie pour maintenir l'harmonie dans l'univers, et lui donner, pour ainsi dire, la vie. On ne saurait accorder trop d'attention aux preuves qui vont l'établir.

Cette propriété consiste en ce que tous les corps tendent sans cesse à se rapprocher. Au commencement du siècle dernier, Newton en fit la découverte, et expliqua par son moyen les mouvemens des corps célestes; plus tard Cavendish, célèbre physicien anglais, en donna une preuve incontestable. La belle expérience que nous lui devons avait été imaginée par Michell, de la Société royale de Londres, qui mourut avant de l'avoir achevée. L'appareil se composait essentiellement d'un levier horizontal portant à chaque extrémité une petite boule de cuivre, et soutenu par un fil d'argent qui, attaché au plafond, pendait verticalement. On approchait des globes de plomb d'un pied de diamètre environ dans le voisinage des petites boules, de manière que leurs actions conspirassent pour faire mouvoir le levier dans le même sens, et aussitôt elles se mettaient en mouvement pour aller joindre ces masses de plomb qu'on leur présentait; mais comme cela ne pouvait arriver sans que le fil ne se tordît, la force de torsion les forçait bientôt à rétrograder, et il en résultait une série d'oscillations. Les petites boules de cuivre étant remplacées par d'autres en fer, l'expérience eut le même succès.

Les grandes montagnes agissent aussi par attraction sur les corps qui n'en sont que peu éloignés; des observations très-précises ont fait voir que leur influence était capable de faire dévier le fil à plomb de plus de 50″.

Phys 208.31

Dédié

à mon Epouse.

une certaine quantité de cuivre et sur un morceau de liège contenant autant de matière; c'est ce que nous prouverons en traitant de la chute des graves. Tous les corps étant attirés par la terre avec une égale intensité, et jouissant également des trois autres propriétés inhérentes, nous sommes autorisés à admettre que toute la matière qui compose l'univers est homogène, et que la seule différence qui existe entre les corps naturels est tout entière dans la forme de leurs atomes. Cette proposition, contre laquelle on pourrait objecter que nous ne connaissons peut-être pas toutes les propriétés inhérentes à la matière, sera portée à un grand dégré de probabilité, quand la suite de cet ouvrage aura fait voir que les caractères distinctifs des corps, comme la couleur, l'élasticité, etc., peuvent s'expliquer par une différence de forme entre leurs atomes.

Nous terminerons ce sujet en indiquant trois expériences faciles à reproduire, dans lesquelles l'attraction se manifeste encore d'une manière non douteuse :

1°. On touche avec un morceau de cuivre bien propre un petit globule de mercure, et on attend qu'il y adhère assez fortement pour qu'on puisse le soulever sans qu'il s'en détache. On approche alors lentement la partie inférieure de ce globule de la partie supérieure d'une autre petite boule du même métal, et on voit toutes ses parties, à l'instant où le contact a lieu, faire un mouvement rapide de bas en haut, pour se réunir au globule adhérent au cuivre.

2°. Après avoir mouillé une bande de papier, on la soutient par son milieu, et on laisse pendre ses deux moitiés, comme on le voit *(fig. 2)*. On approche ensuite les extrémités jusqu'au contact, et on les abandonne. Les parties situées immédiatement au-dessus de l'endroit où le contact cesse, étant très-voisines, s'attirent fortement, et leur réunion s'opère ; les parties suivantes se trouvant alors dans le même cas, se réunissent à leur tour, et bientôt les deux moitiés de la lame de papier sont appliquées l'une sur l'autre dans presque toute leur étendue.

3°. On se procure des disques de marbre, de verre, de cuivre ou d'acier (1), présentant une face plane bien polie, et une face opposée munie d'un crochet; on glisse l'une sur l'autre les faces planes de deux quelconques de ces disques, en les pressant fortement, de manière qu'il ne reste entre elles qu'une quantité d'air presque nulle. On suspend ensuite l'appareil par l'un des crochets, et on attache des poids au crochet inférieur; tant que ces poids ne sont pas un peu considérables, les disques restent unis : ce qui ne peut venir que de leur attraction mutuelle, qui est dans ce cas très-grande à cause de la petite distance qui les sépare. On a pensé d'abord que la pression de l'air pouvait être la cause de ce phénomène; mais comme il a encore lieu dans le vide de la machine pneumatique, quoique avec une différence marquée, on est forcé d'admettre une autre cause. Ce fait étant vérifié, il est toujours facile de séparer les disques, en les faisant glisser l'un sur l'autre comme on a fait pour les assembler; on surmonte alors leur attraction par parties.

Cette dernière expérience est aussi très-propre à nous prouver combien est considérable l'attraction des corps qui se touchent par quelques points, et sont très-rapprochés dans toutes leurs parties, et à nous faire concevoir par conséquent la difficulté plus ou moins grande que nous éprouvons quand nous voulons diviser les corps. Cette difficulté dépend uniquement de la distance à laquelle les atomes se trouvent placés les uns des autres, de leur forme et de leur position relatives; et si nous pouvions préparer deux morceaux d'une même substance assez bien pour les faire coincider parfaitement, ils ne feraient plus qu'un même corps. Le hazard a d'ailleurs offert à peu près ce résultat à la manufacture de glace de Saint-Gobin. M. Clément-Desormes y a recueilli des morceaux de glaces qui étaient restées appliquées l'une contre l'autre pendant long-

(1) L'expérience réussirait sans doute avec toute autre substance, mais ce sont, je crois, les seules qu'on ait employées jusqu'à présent.

temps et s'étaient soudées si bien que, quand on les séparait au moyen d'une force considérable, on s'apercevait que la séparation n'avait pas été opérée suivant leurs surfaces planes, mais d'une manière irrégulière; de sorte que la surface de l'une des glaces retenait de larges lambeaux détachés de l'autre glace. Il paraît qu'avec le temps les atomes qui sont à la surface des deux glaces changent de position et se rapprochent de plus en plus. La connaissance de ce fait, outre qu'elle nous apprend d'une manière encore plus certaine quel est le lien des atomes, nous sera très-utile par la suite.

Après avoir étudié les propriétés inhérentes à la matière, il ne nous reste à examiner que les phénomènes du mouvement. Nous les diviserons en deux classes, qui seront chacune l'objet d'une partie de ce traité : la première comprendra les mouvemens des corps ou mouvemens perceptibles, et la seconde les mouvemens des atomes ou mouvemens imperceptibles, avec les mouvemens perceptibles qui en résultent.

SECONDE PARTIE.

DES MOUVEMENS PERCEPTIBLES.

Tous les mouvemens observés dans l'univers jusqu'à ce jour sont ou la continuation de mouvemens déjà existans, ou bien les résultats de l'attraction des corps, ou des efforts des animaux, ou sont dus à ces causes agissant simultanément. La physique ne s'occupe plus maintenant que des mouvemens dus à l'attraction, et laisse à la mécanique, à l'astronomie et à la physiologie l'étude de ceux qui n'en dépendent pas uniquement.

PESANTEUR.

La terre, en raison de sa masse, attire à elle avec une grande énergie tous les corps qui en sont proches. Nous avons occasion de vérifier ce fait à chaque instant dans les solides et les liquides ; il nous suffira de dire comment on peut prouver que les gaz sont dans le même cas. Pour cela, on fait le vide dans un ballon à robinet au moyen de la machine pneumatique, on le pèse ensuite, puis on y fait rentrer l'air en ouvrant le robinet, et on le pèse de nouveau ; son poids se trouve augmenté, ce qui n'aurait pu avoir lieu si l'air n'était pas pesant. Comme dans cette expérience l'augmentation de poids est assez petite, il faut pour qu'elle réussisse employer des balances très-sensibles ; on peut remplacer l'air par tout autre gaz.

L'attraction que la terre exerce sur les corps est indépendante de leur nature chimique. Du duvet, du liège, des morceaux de plomb et d'or de différentes grosseurs tombent tous avec la même vitesse dans un grand tube purgé d'air ; leur chute ne s'effectue à l'air libre dans des temps différens, que parce que la résistance que l'air oppose à leur mouvement est plus efficace pour les uns que pour les autres ;

elle dépend de leur grosseur et de leur forme, et n'est pas comme l'attraction, proportionnelle à la quantité de matière. On concevra facilement d'ailleurs pourquoi dans le vide, des quantités de matière plus grandes ne tombent pas plus rapidement. Supposons, par exemple, qu'un corps soit placé à une certaine hauteur, et tombe vers la surface de la terre en une seconde; un autre corps tout pareil placé à côté de lui tomberait dans le même temps, aucune circonstance n'ayant changé; d'ailleurs, la réunion de ces deux corps ne ferait pas varier la durée de leur chute, puisqu'ils tendent à se mouvoir de la même manière; et on aurait alors un corps double qui tomberait dans le même temps. Rien n'empêche d'en concevoir 2, 3, 4 ou un nombre quelconque ainsi réunis en un seul, et de supposer que le premier est un atome ou une fraction d'atome; le même raisonnement pourra être fait. On voit par là que la pesanteur ou l'attraction de la terre doit être considérée comme une force qui agit de la même manière sur chacune des molécules des corps, quels qu'ils soient.

Chute des graves. Lorsque les corps tombent, leur mouvement n'est point uniforme; la terre agissant constamment sur eux leur donne une vîtesse qui croît sans cesse. Concevons, par exemple, qu'on représente par 1 la vîtesse communiquée à un corps qui tombe dans le vide pendant la 1re. unité de temps; après 2, 3, 4... unités de temps, elle deviendra 2, 3, 4... et, en général, elle sera proportionnelle au temps, car la terre agit de la même manière pendant chaque unité de temps, et aucune cause étrangère n'a pu diminuer la vîtesse acquise. Il suit de là évidemment que l'espace parcouru pendant la 1re. seconde du mouvement d'un corps est moindre que l'espace parcouru pendant la 2e. seconde, celui-ci moindre que l'espace parcouru pendant la 3e. seconde, et ainsi de suite. Une loi que nous allons démontrer permet de soumettre ce sujet aux calculs de l'arithmétique, et de résoudre quelques questions assez intéressantes.

Supposons un triangle rectangle ABC (*fig.* 3), divisé par des lignes *de*, *fg*, *hi*, *kl*, *mn* parallèles à la hauteur BC et également espacées; et représentons l'unité de temps par leur commune distance $Ad = df = fh$; les perpendiculaires *de*, *fg*, *hi*, étant entre elles comme les distances de leurs pieds au point A, ou comme les temps écoulés, pourront être prises pour représenter les vîtesses. Cela posé, concevons pour un instant que la vîtesse soit constante pendant chaque unité de temps, et la même qu'au commencement; puisqu'elle va croissant, les espaces parcourus, dans cette hypothèse, seraient au-dessous de la réalité, mais l'erreur diminuerait indéfiniment avec l'unité de temps. Les espaces parcourus pendant chaque unité de temps, l'étant d'un mouvement uniforme, seraient d'ailleurs proportionnels aux vîtesses, et on pourrait les représenter par les petits rectangles *depf*, *fgqh*, etc. Imaginons maintenant qu'on prenne une unité de temps de plus en plus petite, en conservant la même hypothèse, la somme des petits rectangles différerait alors de moins en moins du triangle, et en approcherait indéfiniment. De son côté, l'erreur résultant de l'hypothèse diminuerait aussi indéfiniment, de sorte que le triangle et l'espace parcouru seraient les limites dont se rapprocheraient, autant qu'on voudrait, deux quantités, dont l'une est constamment la mesure de l'autre. De là on doit conclure que le triangle ABC mesure exactement l'espace parcouru pendant le temps représenté par AB; de même, le triangle A*kl* mesure l'espace parcouru pendant le temps représenté par A*k*. Mais ces triangles étant semblables donnent la proportion $ABC : Akl :: \overline{AB}^2 : \overline{Ak}^2$, qui nous apprend que *les espaces parcourus sont entre eux comme les carrés des temps employés à les parcourir.*

D'après cela, les espaces parcourus pendant la 1re., la 2e., la 3e. unité de temps, sont entre eux comme les nombres impairs 1, 3, 5... car ces nombres sont les différences entre les termes de la suite 1, 4, 9...

Maintenant, pour résoudre les différentes questions qu'on peut proposer sur cette matière, il ne s'agit plus que de

connaître l'espace parcouru pendant la 1re. unité de temps, pendant la 1re. seconde, par exemple; l'expérience a fait voir qu'il était de $4,^{m}9$ (15 pieds $\frac{1}{10}$ environ) : avec cette donnée, on déterminera facilement l'espace parcouru par un corps durant sa chute, lorsqu'on en aura mesuré le temps au moyen d'une bonne montre à secondes. Prenons le cas où il serait 6 secondes, on poserait la proportion $4,^{m}9 : x^{m} :: 1''^{2} : 6''^{2}$; d'où on tirerait $x = 176,^{m}4$. En général, il faudra multiplier $4,^{m}9$ par le carré du nombre abstrait qui marque combien de secondes a duré la chute. La question inverse est tout aussi facile. Supposons, en effet, qu'il s'agisse de déterminer le temps employé à parcourir $176,^{m}4$, on sera conduit à la proportion $4,9 : 176,4 :: 1 : y^{2}$; y désignant le nombre des secondes qui se sont écoulées pendant la chute, et on en tirera : $y^{2} = \frac{176.4}{4.9} = 36$; d'où $y = 6$. Ainsi un corps met $6''$ à parcourir $176,^{m}4$; on voit que la résolution de ce problême peut servir de preuve pour le premier.

Dans ce qui précède, nous avons raisonné comme si l'attraction de la terre sur le corps eût été la même à toutes les époques de son mouvement, tandis que dans la réalité cette action devient de plus en plus énergique, parce que la distance diminue à chaque instant. Mais on admettra aisément que dans les phénomènes ordinaires l'erreur qui en résulte est insensible, si on considère combien sont petites les distances que parcourent les corps à la surface du globe, comparées à la distance qui les sépare de son centre d'action. Nous appelons ainsi un point où on peut supposer transportée toute la matière qui compose la terre, sans que son action extérieure en soit changée : dans cette hypothèse, on éloignerait certaines parties et on en rapprocherait d'autres de manière à produire une compensation exacte. On démontre en mécanique que la terre, qui diffère peu d'une sphère, a son centre d'action à peu près vers son centre de figure; on peut en déterminer la direction dans chaque lieu au moyen d'un fil à plomb, instrument si simple et si connu, que nous ne ferons que le nommer.

PENDULE. Le pendule ordinaire se compose d'un corps pesant B, suspendu à l'extrémité d'un fil flexible AB; en repos, il n'est autre chose qu'un fil à plomb, il indique la verticale ou la direction de la pesanteur. Quand on l'écarte de cette position jusqu'en AC, par exemple, et qu'on l'abandonne, il y revient ramené par l'action de la terre; il la dépasse même en vertu de sa vîtesse acquise; et, sans la résistance de l'air et celle du fil qui n'est jamais parfaitement flexible, il s'élèverait jusqu'en AD à la même hauteur de l'autre côté de la verticale; car l'action de la terre sur le pendule est la même de AC en AB et de AB en AD, la même série de circonstances se reproduisant; et ce n'est qu'à son arrivée en AD que le pendule aurait perdu toute la vîtesse acquise pendant son mouvement de AC en AB. La terre lui imprimerait alors un nouveau mouvement tout pareil en sens contraire, puis il recommencerait et continuerait ainsi indéfiniment, sans les obstacles que nous avons cités qui diminuent l'étendue des mouvemens et finissent par les éteindre. Les mouvemens de ce genre s'appellent oscillatoires; et quand le mobile, après s'être écarté de la position qu'on l'avait forcé de prendre, y est revenu, on dit qu'il a fait une oscillation. Les mêmes circonstances se reproduisant à chaque oscillation, celles-ci auraient lieu dans des temps parfaitement égaux sans la résistance de l'air et du fil; la mécanique démontre que, malgré ces obstacles, le mouvement des pendules s'effectue d'après les lois suivantes :

1°. Les oscillations d'un pendule sont à très-peu près isochrones (c'est-à-dire ont lieu dans des temps égaux) même lorsque leur amplitude varie, pourvû qu'elle soit toujours assez petite; inférieure, par exemple, à 4 ou 5 dégrés.

2°. Leur durée est indépendante du poids de la boule, lorsqu'elle n'éprouve pas de résistance sensible de la part de l'air.

3°. Les durées des oscillations de pendules de différentes longueurs sont entre elles comme les racines carrées de ces longueurs.

Ces lois adoptées par d'habiles physiciens ont conduit à de grandes découvertes sur la figure de la terre; mais les applications les plus utiles qu'on en ait faites ont rapport à la mécanique, et principalement à l'horlogerie : le pendule est alors employé pour régulariser les mouvemens.

Poids des corps. Quand les corps reposent sur des obstacles qui ne leur permettent pas de se mouvoir, l'attraction de la terre s'exerçant toujours, ils font encore un effort continuel mais inutile pour tomber; c'est à cet effort qu'on a donné le nom de poids. Le poids d'un corps est proportionnel à sa masse ou à la quantité de matière qui le compose, car un corps contenant 2, 3, 4... fois autant de matière qu'un autre, peut être regardé comme composé de 2, 3, 4... parties qui auraient chacune le même poids que celui-ci. Si le rapport n'était pas aussi simple, ou si les masses des deux corps étaient incommensurables, on emploierait alors des raisonnemens analogues à ceux de la géométrie.

La connaissance des poids est très-importante; dans le commerce on n'a pas de meilleur moyen pour comparer les quantités de matière vendues ou achetées. L'instrument le plus employé pour peser est la balance; chacun sait de quoi elle se compose. Pour qu'une balance soit bonne, il faut qu'elle remplisse plusieurs conditions :

1°. Le fléau doit se mouvoir très-facilement sur ses supports;

2°. L'axe de suspension doit être fixé un peu au-dessus du centre de gravité. On appelle ainsi le point d'application d'une force qui, appliquée seule à un corps, produirait le même effet que toutes les forces d'attraction de la terre sur chacune des particules de ce corps;

3°. Les distances de l'axe de suspension aux deux points d'attache des bassins doivent être parfaitement égales.

Cette dernière condition est très-difficile à obtenir; mais une méthode ingénieuse due à Borda nous dispense de l'exiger des artistes. On place le corps dans un des bassins de la balance, dans l'autre on met une matière quelconque pour

produire l'équilibre; on enlève ensuite le corps, et on le remplace par des poids connus, de manière à conserver le niveau; comme ces poids sont placés dans les mêmes circonstances que les corps, il est évident qu'ils en indiquent exactement le poids, même quand la troisième condition n'est nullement remplie.

DENSITÉS. En pesant les corps, on ne tarde pas à s'apercevoir que des volumes égaux de chacun d'eux ont des poids souvent très-différens; cela vient de ce que les uns sont plus poreux que les autres, et contiennent par conséquent moins de matière. On n'est pas encore parvenu à déterminer d'une manière absolue la quantité de matière et la quantité de pores que chaque corps renferme; mais on obtient facilement au moyen des poids les rapports des quantités de matière qu'ils contiennent, quand on les prend sous le même volume; ces rapports s'appellent densités ou poids spécifiques des corps. On est convenu, pour rendre les expériences plus immédiatement comparables et pour aider la mémoire, de représenter par 1 la densité d'un corps, et de lui comparer tous les autres. L'eau étant un corps très-commun et en même temps commode pour cet usage, c'est ce liquide qu'on a choisi; mais il faut avoir soin de prendre de l'eau bien pure, parce que son poids spécifique change, quand on y mêle des matières étrangères. Il est encore d'autres précautions qu'on doit apporter à ces expériences pour leur donner toute l'exactitude désirable; nous reviendrons sur ce sujet à l'occasion des effets de la chaleur qui les nécessitent.

Cela posé, pour former un tableau des densités des corps, il ne reste plus qu'à prendre le poids d'une partie de chacun d'eux au moyen de la balance, à chercher ensuite le poids d'un même volume d'eau, et à diviser le poids du corps par le poids de l'eau. Le quotient ainsi obtenu est le poids spécifique cherché. Supposons, en effet, qu'on trouve que le poids du corps contient 6 fois, par exemple, celui d'un même volume d'eau; il suivra de là qu'il est 6 fois

plus dense, et que sa densité doit être par conséquent représentée par 6, celle de l'eau l'ayant été par 1 : or 6 est précisément le quotient trouvé.

Les physiciens ont plusieurs procédés pour déterminer le poids d'un volume d'eau égal à celui d'un corps solide; nous allons en décrire un qui est susceptible de beaucoup d'exactitude. On met dans un bassin de la balance un flacon bouché à l'émeri rempli d'eau et le corps dont il s'agit; dans l'autre bassin on place une matière quelconque pour produire l'équilibre, puis on introduit le corps dans le flacon qu'on bouche et qu'on essuie parfaitement; il est évident que, par cette opération, on a fait sortir un volume d'eau égal à celui du corps. On pose de nouveau le flacon dans le bassin de la balance, et on y ajoute des poids jusqu'à ce que l'équilibre soit établi; ces poids produisant le même effet que celui de l'eau chassée en sont la mesure.

Pour les corps liquides, on pèse un flacon bouché à l'émeri, et on en retranche le poids de l'air qu'il contient, que nous apprendrons bientôt à calculer; on a ainsi le poids du flacon vide. On le remplit ensuite du liquide sur lequel on veut opérer, et on le pèse de nouveau; l'excès de cette pesée sur la première, diminuée comme nous venons de le dire, étant dû uniquement à l'introduction du liquide, en mesure le poids. On cherche de même le poids d'un volume d'eau capable de remplir le flacon, et égal par conséquent au volume du liquide employé.

Le même procédé peut être appliqué aux gaz en remplaçant le flacon par un ballon à robinet qu'on puisse vider avec la machine pneumatique. Toutefois, nous verrons plus tard qu'au moyen de cette machine on ne parvient jamais à faire un vide parfait; cela nécessite des corrections que nous indiquerons alors; elles ne seraient point comprises maintenant par ceux qui n'auraient pas déjà étudié la physique.

Le tableau suivant présente, toutes corrections faites, les poids spécifiques de l'air et des corps solides et liquides

qu'on emploie le plus souvent ; un second tableau renferme les poids spécifiques des gaz, celui de l'air étant pris pour unité.

Eau pure.	1, 00
Acier non trempé.	7, 73
Acier trempé.	7, 70
Acide nitreux.	1, 45
Acide nitrique.	1, 22
Acide sulfurique.	1, 84
Agathe.	2, 51
Air.	0, 0013
Albâtre.	1, 87
Alcohol le plus pur.	0, 79
Alun.	1, 72
Ambre.	1, 08
Amiante.	2, 91
Antimoine.	6, 70
Anthracite.	1, 80
Ardoise.	3, 50
Argent.	10, 47
Bismuth.	9, 82
Bois de Brésil.	1, 03
— cèdre.	0, 61
— orme.	0, 60
— gayac.	1, 34
— ébène.	1, 18
— érable.	0, 75
— fresne.	0, 85
— buis.	1, 03
— pommier.	0, 73
— oranger.	0, 70
— hêtre.	0, 85
— If.	0, 81
— sapin.	0, 55
— peuplier ordinaire.	0, 38

Bois de tilleul.	0, 60
Cailloux.	2, 54
Camphre.	0, 99
Charbon de terre.	1, 80
Cire jaune.	0, 99
Corail rouge.	2, 68
— blanc.	2, 50
Corne de bœuf.	1, 84
— cerf.	1, 87
Cristal de roche.	2, 65
Cristal d'Islande.	2, 72
Cuivre.	8, 89
Diamant.	de 3, 50 à 3, 55
Eau de mer.	1, 03
Ether sulfurique.	0, 71
Essence de térébenthine.	0, 87
Etain pur.	7, 29
Feld-spalt.	2, 57
Fer.	7, 79
Flint-glass.	3, 20
Glace.	0, 93
Huile d'olive.	0, 91
Ivoire.	1, 83
Lait.	1, 03
Liège.	0, 24
Marbre.	2, 70
Mercure.	13, 57
Or.	19, 25
Phosphore.	1, 77
Platine.	20, 98
Plomb.	11, 35
Poix.	1, 15
Porcelaine de Chine.	2, 38
— de Sèvres.	2, 15
Soufre.	1, 99
Spath pesant.	4, 43

Verre de Saint-Gobin.	2, 49
Vin de Bordeaux.	0, 99
— de Bourgogne.	0, 95
Vinaigre.	1, 02
Zinc.	7, 10

Tableau des densités de quelques gaz, celle de l'air étant prise pour unité.

Air.	1, 00
Azote.	0, 97
Acide carbonique.	1, 52
— sulfureux.	2, 23
Chlore.	2, 47
Hydrogène.	0, 69
Hydrogène bi-carboné.	0, 99
Hydrogène per-phosphoré.	1, 76

Observations. En comparant les différens tableaux formés par les physiciens, on y trouve pour les mêmes corps des poids spécifiques qui diffèrent quelquefois de quantités assez grandes. Cela vient souvent de ce qu'une même substance peut, suivant les circonstances dans lesquelles elle s'est trouvée, présenter une structure cristalline plus ou moins parfaite, ou bien n'être qu'un amas confus de particules sans forme régulière visible, ce qui occasionne des variations dans sa densité. Pour les métaux, s'ils ont été écrouis, c'est-à-dire, si on les a, pendant un certain temps, soumis aux chocs redoublés du marteau; il peuvent aussi avoir des poids spécifiques variables, car cette opération rapproche leurs molécules les unes des autres plus ou moins, suivant le temps de sa durée.

Au moyen de la densité d'un corps, on peut aisément calculer le poids d'un volume donné de ce corps. On pourrait aussi, ayant le volume et le poids d'un corps, calculer sa

densité. Le premier de ces problêmes pouvant être utile, nous allons faire connaître par un exemple la manière de le résoudre.

La densité du plomb est 11, 35; cherchons quel serait le poids de 55 décimètres cubes de cette matière. Supposons pour un instant qu'il s'agisse d'eau, un litre ou un décimètre cube de cette matière pesant un kilogramme, 55 déc. pèseraient 55 kil. Mais le plomb est 11, 35 fois plus lourd que l'eau à volume égal, le poids cherché sera donc le produit de 55 kil. par 11, 35, ou 624 kil. 25. On voit qu'en général il faut prendre autant de kilogrammes qu'il y a de décimètres cubes dans le volume donné, et multiplier par le nombre qui représente la densité du corps prise par rapport à l'eau. Ce procédé, appliqué à l'air, donnerait un gramme trois dixièmes pour le poids d'un litre de ce gaz; donnée suffisante pour calculer le poids de l'air renfermé dans un vase dont on aura mesuré la capacité.

Il serait naturel de considérer maintenant les effets de l'attraction de la terre et des corps solides sur les liquides et les gaz; mais, comme ce qu'il y a de particulier à en dire dépend de la propriété caractéristique dont jouissent leurs molécules d'être très-mobiles les unes par rapport aux autres, et que cette propriété ne pourra être bien conçue qu'après l'étude de la chaleur, nous ne nous en occuperons que plus tard.

TROISIÈME PARTIE.

MOUVEMENS IMPERCEPTIBLES ET MOUVEMENS PERCEPTIBLES QUI EN RÉSULTENT.

Avant de commencer l'étude des phénomènes si importans que doit renfermer cette dernière partie de notre ouvrage, il est nécessaire de connaître un fait très-curieux sur lequel reposent plusieurs des théories qui nous serviront à les expliquer.

Les atomes sont dans un mouvement d'oscillation continuelle, et ne sauraient cesser de se mouvoir; telle est la proposition que nous allons chercher à établir, et dont nous espérons qu'on demeurera de plus en plus convaincu, à mesure que nous en développerons les conséquences.

Pour y parvenir, considérons d'abord deux atomes A et B (*fig.* 5) en contact au point M, et inclinés d'une manière quelconque, G et H indiquant les points où ils sont le plus aplatis. L'attraction mutuelle des parties MIC et MLD sera moindre que celle des parties MGE et MHF, parce que leur volume sera moindre, et que les parties MGO et MHP voisines du point de contact étant plus aplaties que les premières, s'écarteront moins rapidement l'une de l'autre. Ainsi, quoique nous ne connaissions pas au juste la loi que suit l'attraction quant aux distances, le plus grand volume et la plus petite distance se trouvant ici du même côté, il est certain que ces atomes se mettront en mouvement et prendront la position, indiquée par la fig. 6, qu'ils dépasseront aussitôt, ayant alors une certaine vîtesse acquise. Dans cette seconde partie du mouvement, il est évident, d'après ce que nous venons de dire, que l'attraction des deux atomes tendra à le détruire, et qu'il arrivera un instant où elle l'aura entièrement fait cesser; les atomes

occuperont alors la position indiquée par la fig. 7. Les mêmes considérations que pour la position de la fig. 5 prouvent qu'ils recommenceront à se mouvoir, mais en sens contraire, et qu'ils reviendront à la position de la fig. 6. Pendant ce nouveau mouvement, les atômes parcourront en sens contraire la série de positions qu'ils avaient suivie pour parvenir de la position de la fig. 6 à celle de la fig. 7, et l'attraction qui avait détruit leur mouvement repassant successivement par les mêmes dégrés d'intensité, leur redonnera toute la vîtesse dont elle les avait privés. Cette vîtesse les reportera jusqu'à la position de la fig. 5, car ce n'est évidemment qu'alors qu'ils l'auront de nouveau entièrement perdue ; puis les mêmes causes reproduiront les mêmes effets ; et si ces atomes n'étaient pas soumis à des influences étrangères, ils oscilleraient ainsi indéfiniment (1).

Si on conçoit maintenant un troisième atome placé comme l'indique la fig. 8, il oscillera de la même manière que les deux premiers et par les mêmes causes. Toutefois, une nouvelle circonstance qui, en apparence, devrait s'opposer

---

(1) Une comparaison grossière pourra peut-être aider à faire comprendre ce mouvement : Qu'on place un œuf sur une table, puis en ayant soulevé un bout, qu'on l'abandonne. A l'instant, il exécutera une série d'oscillations tout à fait analogues à celles de l'atome A, et par des causes qui ont aussi assez de ressemblance ; car l'œuf qui se meut par l'action de la terre est à peu près dans les mêmes circonférences que s'il était attiré d'une manière sensible par les parties de la table au-dessus desquelles il se trouve, puisqu'elles sont par rapport à lui dans la même direction que le centre de la terre ; ces parties remplacent l'atome B. Le mouvement n'aurait même pas de fin comme celui de l'atome A, si l'œuf était, comme nous avons supposé cet atome, dans un vide parfait, et parfaitement poli ; ce qui préviendrait la résistance de l'air et les frottemens qui sont très-considérables dans l'expérience que nous venons d'indiquer.

On pourrait aussi jusqu'à un certain point comparer le mouvement de l'atome A à celui d'un pendule oscillant (pag. 21) ; la position de la fig. 6 serait analogue à la position verticale du pendule : dans chacune d'elles la force est sans effet.

au mouvement de l'atome du milieu, lui communiquera au contraire une vîtesse un peu plus grande ; nous voulons parler de l'attraction mutuelle des deux atomes extrêmes B et C. En effet, cette force qui tend à rapprocher B de C, accélèrera le mouvement de A, et le fera passer plus rapidement à la position de la fig. 9 ; mais une suite nécessaire de cette accélération est une augmentation d'élan ou de vîtesse acquise ; augmentation qui permettra à l'atome A de prendre la position de la fig. 10, de laquelle il reviendra à la fig. 9. Dans cette dernière période de mouvement, les mêmes forces qui lui avaient enlevé sa vîtesse agissant avec autant d'intensité pour la lui rendre, il la recouvrera entièrement, et le mouvement continuera avec une vîtesse plus grande pour l'atome A que dans le cas précédent.

Dans les corps chaque atome se trouve environné de tous côtés par d'autres atomes dont les actions mutuelles donnent pour résultat des pressions analogues à celle exercée sur l'atome A par les atomes B et C, en vertu de leur attraction mutuelle ; et, d'après ce que nous avons dit de celle-ci, on voit qu'elles ne pourront qu'accélérer le mouvement, loin de le faire cesser. La pression que tous les corps supportent, ainsi que nous le verrons par la suite, de la part de l'air qui les environne, produira un effet semblable. On ne peut pas d'ailleurs supposer que tous les atomes soient et aient toujours été dans la position relative indiquée par la fig. 9, cas auquel ils resteraient en équilibre : les mouvemens nombreux, les frottemens, les chocs auxquels les corps sont soumis fréquemment, auraient changé cet état.

Le mouvement oscillatoire des atomes est susceptible de varier, soit quant à l'amplitude des oscillations, soit quant à leur durée ; nous avons même vu qu'une pression plus grande était une cause d'augmentation de vîtesse et par conséquent de diminution dans la durée. Il est encore évident que la forme des atomes, leur aplatissement plus ou moins grand, peut aussi déterminer un mouvement plus ou moins rapide. Ces variations qui reconnaissent des causes multipliées, et qui sont

si peu importantes en apparence, produisent néanmoins des effets surprenans : en les étudiant, nous aurons un nouveau sujet d'admirer la grandeur de celui qui opère tant de merveilles par des causes aussi simples.

DE LA CHALEUR.

Un grand nombre de physiciens ont regardé la chaleur comme due à la présence d'un fluide particulier plus subtil que l'air ; d'autres ont pensé qu'elle n'était qu'un mouvement des particules qui composent les corps ; mais aucun n'a pu assigner de cause à ces mouvemens, ni en déterminer l'espèce. D'après ce qui précède, nous avons été conduits à admettre comme une conséquence de l'attraction, que les atomes sont dans un mouvement d'oscillation continuel ; en examinant ce mouvement plus en détail, nous reconnaîtrons en lui la cause unique des phénomènes de la chaleur, de la lumière et de l'électricité, trois branches importantes des sciences physiques. Quoique ces phénomènes se trouvent par là ramenés à une même cause, nous conserverons la division admise jusqu'à présent ; elle est, comme on le verra, la plus naturelle, même dans le système que nous avons suivi. Nous introduirons encore des subdivisions ; la chaleur, par exemple, sera l'objet de trois sections : dans la première, nous en examinerons les sources ; dans la seconde, nous dirons comment elle se transmet ; dans la troisième, nous traiterons de ses effets, des moyens de les mesurer, et de leurs principales applications.

PREMIÈRE SECTION.

Sources de la chaleur.

La chaleur, comme toutes les parties de la matière qui ne lui sont pas inhérentes, est susceptible d'augmenter ou

de diminuer dans certaines circonstances ; ce sont les mouvemens atomiques s'effectuant plus ou moins vîte ; et le seul changement qui survienne dans un corps chaud qui cesse de l'être autant, c'est que la vîtesse du mouvement oscillatoire de ses atomes diminue ; et par conséquent une augmentation de chaleur n'est autre chose qu'une augmentation de vîtesse dans les mouvemens des atomes : l'ensemble des phénomènes dont nous allons nous occuper prouvera cette assertion.

D'après cela, nous verrons la première source de la chaleur dans l'attraction mutuelle des atomes, force qui les fait osciller plus ou moins vîte suivant leur forme, et nous ne serons pas surpris de ce qu'il existe dans la nature des corps plus chauds les uns que les autres ; par exemple, le soleil et la terre. Nous en conclurons seulement que les atomes de l'astre brillant qui nous éclaire ont une forme convenable pour qu'il résulte de leur attraction mutuelle un mouvement d'oscillation très-rapide : telle sera la principale cause de la chaleur sur la terre.

Actions mécaniques. Le choc, le frottement sont aussi des sources de chaleur qu'il est nécessaire de connaître pour s'en servir dans certains cas, et se garantir de leurs effets dans d'autres. Dans le briquet ordinaire, une pierre à fusil est choquée rudement contre un morceau d'acier ; il en jaillit des étincelles assez chaudes pour allumer de l'amadou et plusieurs autres substances. Qui ne sait aussi qu'un forgeron habile peut faire rougir une baguette d'acier déjà un peu chauffée, ou faire fondre une plaque de plomb sous les coups redoublés de son marteau ? Ces mouvemens brusques augmentent la vîtesse des atomes et l'amplitude de leurs oscillations, et c'est en cela que consiste la chaleur. Dans la première expérience, on est obligé d'employer des corps durs, parce qu'un corps mou abandonnerait trop facilement ses parties choquées dont les atomes ne ressentiraient pas alors aussi complètement les effets du choc ; dans la seconde

expérience, la chaleur est beaucoup moindre, parce qu'elle se partage, pour ainsi dire, entre toutes les parties de la pièce, ces parties restant unies après le choc.

Le frottement se compose d'un grand nombre de petits chocs entre les aspérités des corps. Quoique ces chocs ne soient point pour l'ordinaire très-rudes, comme ils sont multipliés, ils produisent encore d'assez grands effets. Les sauvages se procurent du feu en frottant deux morceaux de bois dur l'un contre l'autre. Les outils propres à percer le bois et les métaux, et ceux des tourneurs en métaux auraient bientôt perdu la trempe, si on en faisait un usage continuel sans les mouiller avec de l'eau ou des corps gras pour diminuer la chaleur que leur donne le mouvement. Le phosphore s'enflamme quand après en avoir détaché une mince parcelle en le grattant avec l'extrémité d'une allumette, on vient à la frotter sur un corps non poli, sur du feutre, par exemple. On pourrait citer beaucoup d'autres circonstances où des effets de ce genre sont produits; mais il nous suffit d'avoir établi le principe : tout mouvement qui augmente la vîtesse des atomes, augmente par là même la chaleur du corps qu'ils composent.

La compression rapide des corps étant un choc suivi d'une pression par rapport aux atomes, il est évident qu'elle doit aussi produire de la chaleur; c'est ce qu'on peut démontrer, au reste, par plusieurs expériences : nous n'en citerons que deux. Dans plusieurs arts, on a besoin de réduire des métaux en feuilles; on les passe pour cela entre deux cylindres qu'on fait tourner l'un sur l'autre, et on parvient ainsi à en former des lames. Lorsque l'opération a été faite un peu rapidement, il en résulte une chaleur dont on s'aperçoit facilement. Notre deuxième expérience sera celle du briquet pneumatique ou briquet à air : AB *(fig.* 11*)* est un tube de cuivre fermé en A, CD est un piston qui peut y glisser à frottement; en D se trouve une petite cavité dans laquelle on place de l'amadou. Ayant ensuite introduit le piston dans le tube, on pose l'extrémité C de la tige sur un corps stable, et appuyant

brusquement sur le tube, on comprime l'air qu'il renferme. La chaleur produite est si grande qu'on trouve l'amadou allumé, pourvu toutefois qu'on ait eu le soin de le retirer rapidement, parce que l'air contenu dans l'appareil, étant en petite quantité, ne pourrait alimenter pendant long-temps la combustion. En remplaçant le tube de cuivre par un tube en verre épais, on voit une lumière paraître au moment de la compression.

La dépression produit un effet contraire. Un thermomètre étant placé sous le récipient de la machine pneumatique, indique un refroidissement quand on y fait le vide; c'est qu'alors on le soustrait à la pression qu'il supportait de la part de l'air environnant, pression qui, comme nous l'avons vu, cause une certaine augmentation de vîtesse. L'air qui reste toujours en petite quantité dans le récipient, à cause de l'imperfection de la machine, a perdu aussi une partie de sa chaleur, tant parce que ses différentes parties ne supportent pas non plus la pression à laquelle elles sont soumises ordinairement, que parce que sa densité est diminuée. Une diminution de densité occasionne une diminution dans la pression que chaque atome supporte de la part des atomes voisins, situés par rapport à lui dans des directions opposées, et nous avons vu (pag. 31) que de cette pression dépendait en partie la vîtesse des atomes. Lorsqu'on laisse rentrer l'air dans le récipient, la dilatation qu'il éprouve le refroidit d'abord, et son contact refroidissant le thermomètre, une nouvelle diminution de chaleur est indiquée par cet instrument. Mais bientôt l'entrée de l'air extérieur condense celui qui s'était introduit au commencement, et rétablit la pression atmosphérique sur le thermomètre, deux causes qui en élèvent la température et la ramènent à être supérieure même à celle qu'on avait observée avant de faire le vide. La découverte de ces faits est due à MM. Auguste Delarive et J. Marcet; ceux qui désireront en acquérir une connaissance plus détaillée pourront consulter les *Annales de physique et de chimie*, tome 23, pag. 209.

Changement d'état des corps. Le changement d'état des corps doit aussi figurer parmi les sources de la chaleur. Toutes les fois qu'un corps passe de l'état solide à l'état liquide, ou de l'état liquide à l'état de vapeur, une certaine quantité de chaleur est employée dans ce changement; de sorte que, s'il a lieu sans qu'une source de chaleur compense, le corps se refroidit. Réciproquement, si un corps passe de l'état de vapeur à l'état liquide, ou de l'état liquide à l'état solide, une certaine quantité de chaleur est produite par ce changement. Ces deux effets s'expliquent facilement; dans le premier cas, il y a diminution de densité, et nous avons vu qu'il doit en résulter une diminution de chaleur; dans le second cas, il y a augmentation de densité, ou rapprochement des atomes; chacun d'eux éprouve une augmentation de pression de la part des atomes voisins, et de là une augmentation de vîtesse ou de chaleur. Nous pouvons d'ailleurs citer plusieurs expériences qui ont été faites à ce sujet : nous commencerons par les mélanges réfrigérans; et, comme on peut avoir besoin de s'en servir dans plusieurs circonstances, nous en donnerons un tableau détaillé, tiré de la chimie de M. Thenard.

Table des Mélanges frigorifiques.

MÉLANGES DE SEL ET D'EAU.		ABAISSEMENT DU THERMOMÈTRE.
Hydro-chlorate d'ammoniaque.....	5 p.	de + 10° à — 12°,22.
Nitrate de potasse.....	5	
Eau.....	16	
Nitrate d'ammoniaque.....	1	de + 10° à — 13°,88.
Carbonate de soude.....	1	
Eau.....	1	
Nitrate d'ammoniaque.....	1	de + 10° à — 15°,55.
Eau.....	1	
Hydro-chlorate d'ammoniaque.....	5	de + 10 à — 15°,55.
Nitrate de potasse.....	5	
Sulfate de soude.....	8	
Eau.....	16	

MÉLANGES DE SELS ET D'ACIDES ÉTENDUS D'EAU.		ABAISSEMENT DU THERMOMÈTRE.
Phosphate de soude	9 p.	de + 10° à — 6°,11.
Nitrate d'ammoniaque	6	
Acide nitrique étendu d'eau	4	
Sulfate de soude	6	de + 10° à — 10°.
Nitrate d'ammoniaque	5	
Acide nitrique étendu	4	
Phosphate de soude	9	de + 10° à — 11°,11.
Acide nitrique étendu	4	
Sulfate de soude	6	de + 10° à — 12°,22.
Hydro-chlorate d'ammoniaque	4	
Nitrate de potasse	2	
Acide nitrique étendu	4	
Sulfate de soude	3	de + 10° à — 16°,11.
Acide nitrique étendu	2	
Sulfate de soude	5	de + 10° à — 16°,11.
Acide sulfurique étendu	4	
Sulfate de soude	8	de + 10° à — 17°,77.
Acide hydro-chlorique	5	

MÉLANGES DE NEIGE ET DE SEL, OU D'ALCALI, OU D'ACIDE ÉTENDU.		ABAISSEMENT DU THERMOMÈTRE.
Neige	1 p.	de 0° à — 17°,77.
Sel marin	1	
Hydro-chlorate de chaux	3	de 0° à — 27°,77.
Neige	2	
Potasse	4	de 0° à — 28°,33.
Neige	3	
Neige	1	de — 6°,66 à — 51°.
Acide sulfurique étendu (1)	1	
Neige ou glace pilée	2	de — 17°,77 à — 20°,55.
Sel marin	1	

(1) Pour produire ce dégré de froid, on ramène d'abord la neige et l'acide sulfurique étendu d'eau à — 6°,66, en les plaçant séparément dans un mélange frigorifique convenable, et les mêlant ensuite. On doit s'y prendre, à plus forte raison, de la même manière pour faire les mélanges suivans.

Neige et acide nitrique étendu.....		de — 17°,77 à — 43°,33.
Hydro-chlorate de chaux.....	2	de — 17°,77 à — 54°,44.
Neige.....	1	
Neige ou glace pilée.....	1	de — 20°,55 à — 27°,77.
Sel marin.....	5	
Hydro-chlorate d'ammoniaque et nitrate de potasse.....	5	
Neige.....	2	de — 23°,33 à — 48°,88.
Acide sulfurique étendu.....	1	
Acide nitrique étendu.....	1	
Neige ou glace pilée.....	12	de — 27°,77 à — 31°,66.
Sel marin.....	5	
Nitrate d'ammoniaque.....	5	
Hydro-chlorate de chaux.....	3	de — 40°, à — 58°,33.
Neige.....	1	
Acide sulfurique étendu.....	10	de — 55°,55 à — 68°,33.
Neige.....	8	

Il entre dans chaque mélange indiqué dans ces trois tableaux au moins un corps solide, souvent deux; après le mélange, la liquéfaction s'opère par la combinaison chimique des substances, et cette liquéfaction donne lieu à un refroidissement qui l'emporte sur la chaleur que produit toujours la combinaison chimique, comme nous le verrons bientôt.

Un thermomètre placé sur une fenêtre hors d'un appartement nous montre un phénomène du même genre. Le matin, quand il est couvert de rosée, au lieu d'indiquer une augmentation de chaleur lorsque le soleil lui lance ses premiers rayons, il indique au contraire un abaissement de température de plusieurs dégrés, dû au passage de la rosée à l'état de vapeur; mais bientôt après il remonte.

La fusion et la vaporisation par le feu peuvent aussi nous servir de preuve. Lorsque nous voulons, par exemple, fondre de la glace, nous sommes obligés de la chauffer pendant un assez long temps, même après que sa fusion est commencée; et cependant on peut constater au moyen du thermomètre que la glace, à l'instant où elle allait fondre, était aussi chaude que l'eau qui en provient à l'instant où la

fusion se termine. Ainsi toute la chaleur communiquée pendant la fusion n'a servi qu'à réparer les pertes dues au changement d'état; au lieu de glace, on peut employer tout autre corps solide. Les mêmes observations peuvent être faites sur l'eau passant à l'état de vapeur.

On peut aussi, en disposant différemment ces expériences, observer les effets inverses que nous avons annoncés. La fig. 12 représente une cornue placée sur un fourneau; on a introduit 1 kil. d'eau dans cette cornue: elle a ensuite été bouchée avec un liège troué qui a reçu un tube de verre ABC, lequel plonge dans un vase contenant 5 kil. $\frac{1}{2}$ d'eau à la température de la glace fondante : trois thermomètres ont aussi été placés l'un dans l'eau de la cornue, un autre dans la partie supérieure de ce vase, et le troisième dans l'eau du vase MN. L'appareil étant ainsi disposé, on fait du feu dans le fourneau, et lorsque l'eau est en ébullition, on examine les deux thermomètres de la cornue, dont l'un est plongé dans l'eau bouillante, et dont l'autre se trouve alors environné par la vapeur; ils indiquent le même dégré de chaleur. La vapeur conduite par le petit tube va se rendre dans l'eau que contient le vase MN, et là elle redevient liquide à cause du refroidissement qu'elle éprouve. Quand toute l'eau de la cornue est venue ainsi se mêler à celle du vase MN, il en contient 6 kil. $\frac{1}{2}$; et si on consulte alors le thermomètre qui y est plongé, il indique le même dégré de chaleur que les deux autres, c'est-à-dire, la chaleur de l'eau bouillante. Ainsi une quantité quelconque d'eau réduite en vapeur est capable de porter à la température de l'eau bouillante cinq fois et demie autant d'eau sur le point de se congeler, et cela sans se refroidir elle-même. On voit par cette expérience combien est grande la chaleur produite par le passage des corps de l'état de vapeur à l'état liquide. On peut observer par d'autres moyens la chaleur produite pendant la solidification des corps; mais le principe est suffisamment prouvé par ce que nous avons dit.

Combinaisons. Les combinaisons chimiques sont sur la terre les sources les plus abondantes de chaleur ; c'est au moyen de la chaleur développée par la combinaison des matières combustibles avec une partie de l'air, que nous échauffons nos appartemens pendant l'hiver, que nous préparons nos alimens et une foule de produits utiles dans les arts. Leurs effets sont dus à plusieurs causes : l'une, connue depuis long-temps, est le changement d'état des corps; toutefois nous avons vu par les tableaux qui précèdent que ce changement a lieu quelquefois dans un sens tel qu'il occasionne un refroidissement. Une autre cause qui ne varie pas dans ses résultats, si ce n'est quant à l'intensité qui dépend beaucoup de la promptitude avec laquelle la combinaison s'opère, est le mouvement que font les atomes pour se réunir et former le composé ; pendant ce mouvement les atomes s'entrechoquent et leur vîtesse augmente. La dernière cause est l'augmentation de densité qui résulte de la combinaison. Nous pouvons donner pour exemple de combinaisons produisant de la chaleur, celle du plomb avec le soufre : on mêle trois parties de ce métal avec une partie de soufre, après les avoir réduites en poudre, et on chauffe dans un matras de verre ce mélange jusqu'à une température voisine de la chaleur rouge; arrivé à ce dégré, il rougit en un instant ; et si on le retire du feu, la combinaison continue malgré cela et occasionne une chaleur croissante, qui peut même aller jusqu'à fondre le vase.

Actions moléculaires. M. Pouillet, un des célèbres physiciens de notre époque, a prouvé par une belle série d'expériences qu'il fit en 1822, que les corps solides dégagent tous de la chaleur à l'instant où ils sont mouillés par un liquide. Suivant plusieurs physiciens, le phénomène découvert par Dœbereiner en 1823 serait tout-à-fait analogue. Ce phénomène consiste en ce que du platine en fil très-fin, en poudre, en feuille ou en éponge, étant plongé dans un mélange d'hydrogène et d'air, s'échauffe de plus en plus et finit par

déterminer l'inflammation du gaz. M. Thénard et M. Dulong ont fait sur ce sujet beaucoup d'expériences ; ils ont prouvé 1°. que le palladium, le rhodium et l'iridium produisent les mêmes effets que le platine; 2°. que l'osmium, l'or, le charbon, le verre, la pierre-ponce et la porcelaine sont dans le même cas, mais qu'ils doivent être chauffés à différens dégrés; et 3°. que tous ces corps perdent la propriété dont il s'agit quand ils restent trop long-temps exposés à l'air, et la recouvrent par la calcination. Dans ces deux classes de phénomènes, on peut admettre que le liquide ou le gaz qui mouille le corps solide est attiré fortement par lui dans l'endroit où il le touche, qu'il s'y trouve par conséquent condensé, et que cette condensation ou compression est la cause de la chaleur observée.

Cette section se résume très-simplement en disant qu'un mouvement quelconque est une source de chaleur, et qu'une diminution de densité produit au contraire un refroidissement.

SECONDE SECTION.

Propagation de la chaleur.

La chaleur se transmet de deux manières, par le contact ou à distance : un corps froid s'échauffe quand on le met en contact avec un corps chaud, et il s'échaufferait encore quand même il ne serait pas en contact, pourvu qu'il n'en fût pas trop éloigné. Ces faits sont connus de tout le monde, ils paraissent très-simples au vulgaire; mais quand on y réfléchit, quand on en recherche la cause, la curiosité se trouve alors vivement piquée, et notre esprit en fait l'objet de ses méditations.

Dans notre théorie, la chaleur communiquée à distance est un résultat de l'attraction que les atomes du corps le plus chaud exercent sur les atomes du corps qui l'est moins. Une

comparaison que nous allons faire aidera beaucoup à concevoir cette action : Un barreau aimanté est placé horizontalement dans une chape en papier qui pend à l'extrémité d'un fil de soie vertical, attaché d'une manière fixe par sa partie supérieure; ce barreau, comme nous le verrons par la suite, a une direction constante, et quand on l'en écarte il exécute une série d'oscillations. On fait osciller un barreau de fer dans le voisinage, on voit aussitôt le barreau d'acier exécuter une série d'oscillations sans avoir été dérangé, ou bien s'il était déjà en mouvement oscillatoire, ses oscillations augmentent ou diminuent de vîtesse et d'amplitude jusqu'à ce que son mouvement soit le même que celui du morceau de fer; de sorte que 1°. si le morceau de fer fait des oscillations plus amples que celles du barreau aimanté, l'amplitude de celles-ci s'agrandit; et 2°. si le morceau de fer fait des oscillations moins amples que celles du barreau aimanté, l'amplitude de celles-ci diminue; il en est de même pour les vîtesses. En étudiant le magnétisme, nous reconnaîtrons aux barreaux aimantés la vertu d'attirer le fer, et réciproquement au fer la vertu d'attirer les barreaux aimantés ; ces deux corps sont donc, quant à leur action mutuelle, à peu près dans le même cas que deux atomes : nous verrons d'ailleurs bientôt qu'il y a aussi quelque ressemblance de forme entre eux, car nous prouverons que les atomes sont des corps très-allongés. Le fait que nous venons d'énoncer est au reste très-facile à expliquer ; mais comme les différentes positions occupées successivement par le barreau aimanté et le morceau de fer seraient difficilement conçues si nous les représentions dans une figure, nous laisserons à chacun le soin de se livrer à cette étude. Pour s'aider, ceux qui n'auraient pas d'aimant pourront prendre deux morceaux de bois allongés, et leur donner les différentes positions relatives que prennent l'aimant et le fer dans notre expérience. Ce qu'il importe sur-tout de remarquer, c'est l'influence à distance des oscillations du fer sur celles de l'aimant, sans que celui-ci soit nullement touché. De tout ceci nous déduisons, par comparaison, que l'action

mutuelle de deux atômes placés à une certaine distance, et dont un fait des oscillations plus amples ou plus rapides que l'autre, tendra sans cesse à établir l'harmonie entre leurs mouvemens ; car l'atome qui se meut le plus vîte, ou fait des oscillations plus amples, est comme le morceau de fer dans le premier cas, et doit augmenter la vîtesse ou l'amplitude des oscillations de l'autre; de même que le morceau de fer augmentait la vîtesse ou l'amplitude des oscillations du barreau aimanté. Celui qui se meut le moins vîte ou fait des oscillations moins amples, est comme le morceau de fer dans le second cas, et doit diminuer la vîtesse ou l'amplitude des oscillations de l'autre. L'action des corps les uns sur les autres se composant des actions de tous leurs atomes, on voit pourquoi deux corps, dont l'un est plus chaud que l'autre, ont une action réciproque, telle que le plus chaud échauffe le moins chaud, et que le plus froid refroidit le plus chaud. Quant à l'intensité de leur action, elle est d'autant moindre que la distance est plus grande; c'est une suite de ce que toutes les forces d'attraction diminuent à mesure que la distance augmente.

La chaleur transmise au contact s'explique plus facilement: il est évident que quand une réunion d'atomes est touchée par une autre collection qui se meut plus vîte, elle doit en recevoir de petits chocs qui accélèrent sa vîtesse ou augmentent sa chaleur; mais en même temps le corps chaud doit perdre de sa chaleur par la même cause.

Ces deux modes de propagation ne s'observent jamais l'un sans l'autre. Lorsqu'un corps en touche un autre plus chaud, les parties en contact s'échauffent, elles communiquent par contact de la chaleur aux parties qui leur sont contiguës, celles-ci aux suivantes, et la transmission s'opère ainsi de proche en proche dans tout le corps : on appelle conducibilité cette propriété qu'ont les corps de transmettre la chaleur de chacune de leurs parties aux parties consécutives. Les parties non en contact s'échauffent par conducibilité, comme nous venons de le dire, et en outre par l'action à

distance du corps chaud. Si le corps n'était point en contact, mais seulement dans le voisinage d'un autre corps plus chaud, les parties les plus voisines s'échaufferaient alors plus par l'action à distance du corps chaud que toutes les autres, et elles les échaufferaient par conducibilité, de sorte que la chaleur transmise à celles-ci leur viendrait encore des deux manières.

Conducibilité. Les corps jouissent à des dégrés très-différens de la propriété de conduire la chaleur. Les expériences les plus grossières, celles que nous faisons tous les jours, suffisent pour nous apprendre que les métaux sont de bons conducteurs de la chaleur; que le charbon, le bois, le verre, les corps gras sont de mauvais conducteurs. On peut ranger les corps suivant l'ordre de leur plus grande conducibilité, au moyen de l'expérience d'Inghenouz. Son appareil se compose d'une petite caisse sur un des côtés de laquelle on fixe perpendiculairement de petits cylindres de diverses substances qu'on a recouverts chacun d'une couche de cire. On verse de l'eau bouillante dans la caisse; la chaleur se transmet de proche en proche dans les cylindres, et fait fondre la cire d'autant plus loin qu'ils sont meilleurs conducteurs : c'est en comparant ces distances auxquelles la cire fond qu'on détermine l'ordre de conducibilité. Des physiciens ont tenté d'évaluer en chiffres la conducibilité des diverses substances; mais leurs résultats n'étant pas certains, nous citerons seulement l'ordre dans lequel ils ont rangé les corps qu'ils ont essayés, en commençant par ceux qui conduisent le mieux la chaleur.

Or.	Plomb.
Argent.	Marbre.
Cuivre.	Porcelaine.
Fer.	Terre des fourneaux.
Zinc.	Verre.
Etain.	Charbon.

On a remarqué aussi que tous les corps réduits en fila-

mens très-fins ou en parcelles très-petites sont de mauvais conducteurs ; tels que le charbon, le verre, la brique réduits en poudre, le sable, la laine, la soie, la plume, etc.

Il suffit souvent pour reconnaître quel est celui de deux corps qui conduit le mieux la chaleur de les toucher successivement avec la main, lorsqu'ils sont dans les mêmes circonstances. Si cette expérience se fait pendant l'hiver, ou bien si, pendant l'été, les deux corps sont à l'ombre, on les trouvera froids, parce que, étant moins chauds que la main, elle leur communiquera de la chaleur et en perdra en même temps; mais s'ils ont des facultés conductrices assez différentes, l'un paraîtra plus froid que l'autre : par exemple, si du fer et du bois sont dans les mêmes circonstances, le fer paraîtra plus froid. Cela vient de ce que le corps bon conducteur transmet promptement dans toute sa masse la chaleur que la main communique à la couche en contact; de sorte que cette couche perdant sans cesse reste froide, et enlève constamment de la chaleur à la main : le corps mauvais conducteur, au contraire, enlève très-lentement la chaleur que la main communique à la couche en contact qui, ne se refroidissant presque pas, ne peut plus refroidir autant la main. Si les deux corps étaient au soleil et plus chauds que la main, le corps meilleur conducteur paraîtrait le plus chaud, et le corps moins bon conducteur paraîtrait le moins chaud.

Le mercure excepté, les liquides sont tous de mauvais conducteurs de la chaleur; on s'en assure facilement par l'expérience suivante : On place horizontalement dans un verre percé sur le côté un petit thermomètre AB, puis on verse dans ce verre du liquide qu'on veut essayer, jusqu'à ce que le thermomètre en soit recouvert de quelques lignes. On verse par-dessus une petite couche d'éther, ce liquide étant très-léger reste à la surface ; on l'enflamme, et quand la combustion est terminée, on consulte le thermomètre ; il n'indique qu'une très-légère augmentation de chaleur, et on peut même penser qu'elle lui a été transmise par les

parois du vase, au moins en grande partie. Quand on chauffe les liquides par leur partie inférieure, la même observation ne peut pas être faite; ils s'échauffent alors dans toutes leurs parties, mais ce n'est point par conducibilité. Nous verrons plus tard que les corps deviennent moins denses en s'échauffant, et qu'il en résulte des courans lorsqu'ils sont liquides; ces courans mêlent à chaque instant les parties chaudes avec celles qui le sont moins, et la chaleur se répand ainsi dans toute la masse. Cet effet a lieu aussi dans les gaz; et comme on n'est pas encore parvenu à trouver un moyen pour s'en garantir, nous n'avons point d'expériences très-directes pour juger de la conducibilité de ces substances; cependant tout nous porte à croire qu'ils conduisent aussi très-mal la chaleur.

Les différentes parties d'un même corps ne s'échauffent pas avec la même facilité; dans l'intérieur, par exemple, la vîtesse des atomes s'accroît plus difficilement, parce qu'ils sont gênés dans leurs mouvemens par les atomes voisins; à la surface, au contraire, les mouvemens sont beaucoup plus libres. Cette circonstance influe sur la conducibilité qui est bien plus parfaite dans la première couche vers la surface des corps que dans leur intérieur; nous aurons occasion, en étudiant les phénomènes de l'électricité, de faire remarquer avec quelle promptitude la chaleur, lorsqu'elle est assez forte, se transmet d'un bout à l'autre d'un fil métallique par sa surface, même quand il a plusieurs lieues de longueur.

Action à distance. L'intensité de l'action à distance dépend de la distance, de l'état des surfaces des corps qui communiquent et reçoivent la chaleur, de leurs inclinaisons relatives, et enfin de la forme des atomes qui les composent.

La fig. 13 représente un cube en fer blanc rempli d'eau bouillante; une de ses faces est bien polie, une seconde est couverte de raies parallèles placées à une petite distance les

unes des autres, une troisième en contient un nombre double, et la quatrième le même nombre que la précédente, mais la moitié dans un sens et l'autre moitié dans une direction perpendiculaire. On le pose dans le voisinage d'un thermomètre, et on observe ce qui arrive quand on tourne vers cet instrument chacune des quatre faces du cube sans changer la distance. Il est inutile de dire qu'il faut renouveler l'eau quand sa chaleur est notablement diminuée, pour que ces effets soient comparables.

La première face fait monter le thermomètre d'un certain nombre de dégrés, la deuxième face d'un nombre plus considérable, la troisième d'un nombre encore plus grand, et la quatrième produit plus d'effet que toutes les autres.

On voit par cette expérience que l'influence du corps chaud est d'autant plus grande qu'il est moins poli, toutes choses égales d'ailleurs. Pour expliquer ceci, il faut remarquer que les corps opaques sont de bons écrans; c'est-à-dire, que placés entre un corps chaud et un autre qui l'est moins, ils empêchent l'action du premier sur celui-ci, au moins en grande partie, et cela parce qu'ils en sont plus rapprochés et que leur influence domine. Cela posé, nous pouvons concevoir une couche d'une certaine épaisseur vers la surface du corps chaud, elle sera un écran par rapport au reste de ce corps, de sorte qu'elle agira presque seule sur le thermomètre. Maintenant, la température de cette couche n'est pas aussi élevée que celle de l'intérieur, parce qu'elle est refroidie sans cesse par l'air qui la touche et l'influence des corps voisins, influence dont elle préserve en grande partie l'intérieur; son dégré de chaleur varie d'ailleurs avec le poli par deux causes : 1°. l'air qui est en contact avec elle s'échauffe en la refroidissant; il devient en même temps plus léger, et tend à s'élever, comme nous le verrons par la suite; cette ascension a lieu plus facilement auprès de la première face, et de moins en moins facilement dans les trois autres à mesure que le poli devient plus imparfait, parce que l'air est arrêté par les aspérités de ces faces : de là dépend en partie la tem-

pérature de la première couche, car lorsque l'air séjourne, au lieu de se renouveler sans cesse, il s'échauffe de plus en plus, et son influence pour refroidir devient moindre. 2°. Dans le fond des raies se trouve une petite portion de la surface, qui est entretenue à peu près à la même température que le corps, en étant presque environnée de toutes parts; et comme la chaleur se transmet sur toute la surface avec une grande facilité, il en résulte que la première couche est d'autant plus chaude qu'elle est moins polie. Les pointes, lorsqu'elles sont très-rapprochées les unes des autres, sont surtout bien maintenues chaudes, parce que leurs pertes sont compensées à chaque instant par la chaleur que leur transmet de tous côtés la portion de surface qui sépare leurs pieds, et qui est dans le même cas que le fond des raies. Un morceau d'acier qui aurait été cassé par un endroit, présenterait une foule de petites pointes comme celles dont nous venons de parler; la quatrième face de notre cube s'en rapproche un peu, étant sillonnée par des raies perpendiculaires, et c'est pour cela qu'elle produit plus d'effet sur le thermomètre que la troisième face.

La forme des atomes, leur allongement plus ou moins grand influe aussi sur l'intensité de l'action à distance d'un corps chaud sur un corps froid, de même que la forme du morceau de fer influe sur l'intensité de son action sur l'aimant dans l'expérience de la page 42. Plus les atomes sont allongés, et plus leur influence est grande, toutes choses égales d'ailleurs. La couleur doit être aussi considérée : Lorsqu'on peint les faces d'un cube pareil à celui de la *fig.* 13 de différentes couleurs, on voit que la face noire a le plus d'action, et la face blanche le moins d'action sur le thermomètre. Les couleurs intermédiaires donnent des résultats plus ou moins grands, suivant qu'ils se rapprochent du noir ou du blanc. Ces faits s'expliqueront d'eux-mêmes quand nous aurons fait connaître la cause des couleurs.

Jusqu'à présent nous n'avons changé que la surface du corps chaud et non celle du thermomètre; on pourrait faire

l'inverse, et on verrait que les circonstances dans lesquelles la surface du corps chaud avait le plus d'influence, seraient aussi celles dans lesquelles la surface du thermomètre recevrait le plus de chaleur, et cela par les mêmes causes; de sorte que l'action mutuelle de deux corps, dont l'un est plus chaud que l'autre, est d'autant plus énergique que leurs surfaces sont moins polies, présentent plus de pointes, et se rapprochent davantage de la couleur noire.

La facilité avec laquelle les mouvemens atomiques se transmettent de l'intérieur à la surface, ou de la surface à l'intérieur, peut évidemment aussi modifier ces effets, puisque de là dépend en partie la température à laquelle la surface du corps chaud sera maintenue, et la quantité de chaleur qui sera transmise à chaque instant par la surface du corps froid à l'intérieur de ce corps.

L'inclinaison relative des faces est la dernière cause d'où dépend l'intensité de l'action d'un corps chaud sur un corps froid. La fig. 14 représente une coupe du cube dont nous avons déjà parlé, et d'un corps solide; les lignes C*f*, C*g*, C*h* indiquent les directions dans lesquelles certaines parties du cube agissent sur quelques parties du corps froid; *fj*, *gk*, *hl* sont leurs prolongemens dans l'intérieur de ce corps; ces droites sont toutes égales à l'épaisseur nécessaire pour qu'elles puissent servir d'écran aux parties qui sont derrière elles; AB*li* est par conséquent la couche qui s'échauffe immédiatement par l'influence du corps chaud. D'après cela, les résultats de l'expérience sont très-faciles à prévoir; car cette couche, dont l'épaisseur est représentée par *fi*, en aura une d'autant moins grande évidemment qu'elle s'écartera davantage de la position perpendiculaire à la direction du corps chaud; et comme c'est d'elle que vient une grande partie de la chaleur transmise à l'intérieur du corps, il s'échauffera d'autant moins que cette couche sera moins épaisse, ou d'autant moins que la position qu'elle occupera s'écartera davantage de celle où elle est perpendiculaire à la direction du corps chaud.

On peut expliquer au moyen de ce que nous venons de dire l'action du soleil sur la terre ; ce fait servira même à prouver l'exactitude des résultats qui nous ont été indiqués par la théorie. Nous considèrerons le soleil lorsqu'il est au-dessus de l'équateur ; personne n'ignore qu'il agit alors plus puissamment sur cette partie de la terre, et que son action est de moins en moins énergique, à mesure qu'on s'en éloigne pour se rapprocher des pôles, abstraction faite des circonstances locales. Or, la distance du soleil à l'équateur étant environ de 34,000,000 de lieues, celle du soleil au pôle 1500 lieues de plus, la différence de chaleur ne peut pas venir de l'éloignement qui est, comme on voit, à peu près le même dans les deux cas, et elle est due presque uniquement à l'obliquité plus ou moins grande de la direction du soleil par rapport aux différentes parties de la surface terrestre.

Pour compléter l'étude de la propagation de la chaleur, nous devrions rechercher maintenant comment elle se transmet à travers les corps transparens ou par réfraction, et par réflexion au moyen des miroirs ; mais comme ces phénomènes et leurs explications se retrouveront à peu près les mêmes lorsque nous traiterons de la lumière, nous préférons ne les exposer qu'alors, parce qu'ils seront plus évidens.

TROISIÈME SECTION.

Effets de la chaleur, moyens employés pour la mesurer, ses principales applications.

Effets de la chaleur. Les effets de la chaleur sont : la dilatation et le changement d'état des corps ; elle agit puissamment aussi pour déterminer dans certains cas les combinaisons et dans d'autres les décompositions chimiques.

Dilatation. Un accroissement de chaleur n'étant autre chose qu'une augmentation de vîtesse dans le mouvement oscillatoire des atomes, ou dans l'amplitude et la vîtesse de leurs oscillations, il est évident que plus la chaleur est grande, plus ils doivent laisser d'intervalle entre eux, et plus par conséquent le volume du corps qu'ils composent doit être considérable. Ce fait qui nous est indiqué par la théorie peut être facilement prouvé par l'expérience, et servir à la rendre encore plus probable.

La fig. 15 représente une barre d'un corps solide quelconque, d'une longueur telle que froide elle se place exactement entre les deux montans A et B; on la chauffe et on cherche à la replacer dans la même position : elle se trouve trop longue, et ne peut pénétrer entre les deux montans qu'après s'être refroidie.

La fig. 16 représente un petit tube de verre à l'une des extrémités duquel on a soufflé une boule dans laquelle on a introduit un liquide quelconque jusqu'en A; on chauffe cet appareil en le plongeant dans de l'eau bouillante, et voici ce qui arrive : dans le premier moment le liquide descend un peu dans le tube, parce que c'est le vase qui s'échauffe le premier et s'agrandit; c'est une nouvelle preuve de la dilatation du verre; mais au bout d'un temps très-court le liquide remonte, et on le voit dépasser de beaucoup le point A, malgré l'augmentation de capacité du vase. Le refroidissement fait redescendre le liquide au point où il était d'abord.

La fig. 17 représente un petit appareil qui peut servir à constater la même propriété dans les gaz. En A se trouve une petite goutte de mercure qui limite un certain volume de gaz, et qu'on appelle index. Lorsqu'on prend la boule dans la main, le gaz est dilaté par la chaleur que la main lui communique, et cet effet est indiqué par le mouvement de l'index; l'immersion dans l'eau froide produit au contraire une contraction, et l'index se rapproche de la boule. Ces trois expériences suffisent pour établir l'existence de deux

forces dans les corps, l'une expansive qui est due à la chaleur et que nous avons expliquée ; l'autre est une force qui tend à rapprocher les molécules ; elle est due à l'attraction, mais elle n'agit qu'autant qu'elle est supérieure à la première, ce qui arrive toutes les fois que la chaleur diminue.

M. Molard fit faire au Conservatoire des arts et métiers à Paris, une application extrêmement curieuse de la force de contraction que présentent les corps pendant le refroidissement. Deux murailles opposées de cet édifice s'étaient écartées de la ligne verticale, de manière à faire craindre leur chute à l'extérieur ; des barres de fer furent introduites dans des ouvertures pratiquées dans les murs vis-à-vis les unes des autres ; on chauffa ces barres et on serra des écrous qui étaient à leurs extrémités en dehors de la salle : la force de contraction qu'elles manifestèrent en se refroidissant fut suffisante pour rapprocher les murs ; on les chauffa de nouveau, mais seulement de deux en deux, de sorte que pendant que la moitié des barres s'alongeait par la chaleur, l'autre moitié retenait les murailles : on resserra les écrous des barres chauffées, et les murs furent encore rapprochés d'une certaine quantité, pendant le refroidissement. En continuant ainsi, on les ramena dans la position verticale.

Ce qui précède suffit pour nous faire voir que les liquides se dilatent plus que les solides, et les gaz encore plus que les liquides : mais ces expériences grossières ne seraient point propres à nous faire connaître d'une manière précise la quantité dont chaque corps se dilate ; il faut pour cela des appareils préparés avec plus de soin.

Dilatation des solides. MM. Laplace et Lavoisier plaçaient une barre du corps dont ils voulaient observer la dilatation, au fond d'une cuve en métal, horizontalement et sur des tubes en verre couchés qui lui servaient de support, et ne la touchaient que par une très-petite portion de sa surface. Une de ses extrémités était arrêtée contre la partie inférieure d'une règle en verre qui s'élevait au-dessus de la cuve, et était

fixée par sa partie supérieure dans une maçonnerie d'une solidité parfaite ; son autre extrémité sortait d'une quantité très-petite, et s'appuyait contre le petit bras d'un levier extérieur qu'on maintenait à un dégré de chaleur constant, pour que ses dimensions ne pussent pas changer. D'après cette disposition, la barre, en se dilatant par la chaleur, devait faire parcourir à l'extrémité du bras du levier qu'elle touchait un chemin égal à sa dilatation, et en donnant à l'autre bras du levier une longueur mille fois plus grande, on rendait les effets bien plus sensibles, et on pouvait évaluer la dilatation de la barre à un dix-millième de millimètre près. Les illustres physiciens auxquels nous devons ces expériences, ont mesuré les dilatations que les corps solides éprouvent en passant de la température de la glace fondante à celle de l'eau bouillante, deux dégrés de chaleur qui sont constans quand la hauteur du baromètre est la même (on est convenu de faire les expériences lorsqu'elle serait de 0^m, 76) ; ils se les procuraient d'ailleurs en remplissant alternativement la cuve de glace fondante et d'eau qu'ils mettaient en ébullition. Ils ont ensuite comparé la dilatation de chaque barre avec sa longueur totale, pour savoir quelle fraction elle en était.

Le tableau suivant renferme les résultats auxquels ils sont parvenus.

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	DILATATIONS EN LONGUEUR.
Glace de Saint-Gobin.	$\frac{1}{1122}$
Tube de verre sans plomb.	$\frac{1}{1114}$
Flint-Glass anglais.	$\frac{1}{1248}$
Verre de France avec plomb. . . .	$\frac{1}{1146}$
Cuivre.	$\frac{1}{582}$
Cuivre jaune ou laiton.	$\frac{1}{532}$
Fer doux forgé.	$\frac{1}{819}$
Fer rond passé à la filière.	$\frac{1}{811}$
Acier non trempé.	$\frac{1}{926}$
Plomb.	$\frac{1}{351}$
Etain des Indes ou de Mélac.	$\frac{1}{516}$
Etain de Falmouth.	$\frac{1}{461}$
Argent de coupelle.	$\frac{1}{523}$
Or de départ.	$\frac{1}{682}$
Or au titre de Paris, non recuit. . .	$\frac{1}{645}$
——————— recuit. . . .	$\frac{1}{660}$
Platine, selon Borda.	$\frac{1}{1167}$

MM. Dulong et Petit sont parvenus par un autre procédé aux résultats suivans :

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	DILATATIONS EN LONGUEUR.
Fer.	$\frac{1}{846}$
Cuivre.	$\frac{1}{582}$
Platine.	$\frac{1}{1131}$
Verre.	$\frac{1}{1161}$

La dilatation en volume peut s'obtenir facilement au moyen de la dilatation en longueur; il suffit pour cela d'en prendre le triple. En effet, lorsqu'un corps se dilate par l'effet de la chaleur, ce n'est pas seulement une de ses dimensions qui éprouve cet effet, elles s'alongent toutes dans la même proportion, de sorte que le corps chaud est semblable au corps froid pour la forme. Or, la géométrie démontre que les solides semblables sont entre eux comme les cubes des dimensions homologues; on aura donc, en désignant par 1 la longueur et le volume du corps froid, par d la dilatation de la longueur, et par D la dilatation du volume, $1 + D : 1 :: (1 + d)^3 : 1^3$, ou, développant le cube de $1 + d$, et retranchant chaque conséquent de son antécédent, $D : 1 :: 3d + 3d^2 + d^3 : 1$, ou bien encore en négligeant $3d^2 + d^3$, quantité extrêmement petite, puisque d est déjà une petite fraction, $D : 1 :: 3d : 1$, d'où on conclut $D = 3d$, c'est-à-dire que la dilatation en volume est triple de la dilatation en longueur. Le tableau suivant a été formé par ce moyen :

Tableau des dilatations en volume des corps solides, passant de la chaleur de la glace fondante à celle de l'eau bouillante.

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	DILATATIONS EN VOLUME.
Glace de Saint-Gobin.	$\frac{1}{374}$
Tube de verre sans plomb.	$\frac{1}{371}$
Flint-Glass anglais.	$\frac{1}{416}$
Verre de France avec plomb.	$\frac{1}{382}$
Cuivre.	$\frac{1}{194}$
Cuivre jaune ou laiton.	$\frac{1}{177}$
Fer doux forgé.	$\frac{1}{273}$
Fer rond passé à la filière.	$\frac{1}{270}$
Acier non trempé.	$\frac{1}{309}$
Plomb.	$\frac{1}{117}$
Étain des Indes ou de Mélac.	$\frac{1}{172}$
Étain de Falmouth.	$\frac{1}{154}$
Argent de coupelle.	$\frac{1}{174}$
Or de départ.	$\frac{1}{227}$
Or au titre de Paris, non recuit. . .	$\frac{1}{215}$
——————— recuit.	$\frac{1}{220}$
Platine, selon Borda.	$\frac{1}{389}$

Dilatation des liquides. Les liquides ne pouvant être examinés que dans des vases dont toutes les dimensions s'agrandissent lorsque la chaleur augmente, il est plus difficile de mesurer leur dilatation; on y parvient toutefois par un procédé ingénieux qui la force, pour ainsi dire, à se manifester indépendamment de celle du vase. Ce procédé est dû à MM. Dulong et Petit.

La fig. 18 représente l'appareil. AB et CD sont deux tubes assez larges communiquant par un autre tube horizontal très-petit, et environnés chacun d'un manchon en verre : un liquide quelconque, du mercure, par exemple, est versé dans cet appareil, et s'élève d'abord au même niveau dans les deux tubes verticaux; on met ensuite de la glace dans l'un des deux manchons, et dans l'autre de l'eau qu'on porte à la température de l'eau bouillante, en y faisant passer un courant de vapeur qui se dégage de la fiole H. Les deux colonnes de mercure s'élèvent alors à des hauteurs inégales, parce que l'une étant plus chaude que l'autre est plus dilatée, et par conséquent plus légère; ce sont ces hauteurs qu'il faut mesurer avec précision, pour en conclure la quantité dont le mercure se dilate en passant de l'une de ces températures à l'autre. On se sert pour cela d'une lunette horizontale qui glisse sur une règle maintenue verticalement par une maçonnerie solide : sur chacun des deux verres de cette lunette sont appliqués deux fils très-fins se coupant à angle droit au milieu de ces verres; la ligne qui joint leurs points d'intersection s'appelle l'axe de la lunette; il importe qu'il soit bien horizontal. On dirige la lunette de manière qu'on aperçoive sur le prolongement de son axe le bas et ensuite le sommet de chaque colonne, et on juge de leurs hauteurs par le chemin que la lunette parcourt dans ces mouvemens; la règle verticale est munie de divisions pour l'évaluer. Désignons par H la hauteur de la colonne de mercure chaud, par h celle de la colonne de mercure froid; nous démontrerons, en étudiant les fluides, que, quand deux liquides de densités différentes sont dans des vases qui se communiquent,

le plus léger s'élève à une plus grande hauteur, et même que les hauteurs sont exactement en raison inverse des densités. Or, le mercure chaud et le mercure froid sont évidemment dans le même cas que deux liquides de densités différentes; et puisque la chaleur a dilaté l'un plus que l'autre, la loi que nous venons d'énoncer est applicable, et conduit à la proportion, $H : h :: d : D$; D désignant la densité du mercure chaud et de celle du mercure froid. Appelons maintenant v le volume d'une certaine quantité de mercure à la température de la glace fondante, V le volume de la même quantité de mercure à la température de l'eau bouillante; V est plus grand que v, et si V était double ou triple de v, la quantité de matière n'ayant pas changé, la densité serait devenue la moitié ou le tiers de ce qu'elle était, et en général elle décroît proportionnellement à l'accroissement de volume. Ceci nous conduit à la nouvelle proportion, $V : v :: d : D$, qui, comparée avec la première à laquelle nous étions déjà parvenus, se trouve contenir un même rapport, celui de d à D. On en conclut que les deux autres rapports qui entrent dans ces proportions sont égaux, ce qu'exprime la proportion $H : h :: V : v$, qui devient, quand on y retranche chaque conséquent de son antécédent, $H - h : h :: V - v : v$... $V - v$ est l'excès du volume du mercure chaud sur son volume quand il était froid, ou la dilatation. $V - v : v$ est la fraction de son volume dont se dilate le mercure pris à la température de la glace fondante, et porté à celle de l'eau bouillante; cette fraction étant égale à $H - h : h$ est facile à obtenir, puisque H et h sont connus. MM. Dulong et Petit l'ont trouvée égale à $\frac{1}{50}$.

On pourrait déterminer de la même manière la dilatation des autres liquides, mais on peut employer aussi une autre méthode qui est plus facile à mettre en pratique. On introduit du mercure dans un tube terminé par une boule, et gradué, c'est-à-dire divisé en parties d'égale capacité, et ayant un rapport connu avec la boule, de telle manière, par exemple, que la boule contienne mille de ces parties; on plonge ensuite

l'appareil successivement dans de la glace fondante et dans de l'eau bouillante, et on remarque combien le mercure occupe de divisions à ces deux températures. Il est facile de trouver avec ces données de quelle fraction de son volume le mercure renfermé dans l'appareil paraîtra se dilater en passant de la 1re à la 2e; on trouvera $\frac{1}{66}$ environ, fraction plus petite que $\frac{1}{56}$, qui est celle obtenue par MM. Dulong et Petit. Cette différence provient de la dilatation du verre, la boule s'étant agrandie a pu loger plus de liquide; et, d'après cela, il est évident que l'excès de $\frac{1}{56}$ sur $\frac{1}{66}$ qui égale $\frac{1}{370}$ à peu près, sera la dilatation du verre. En la comparant avec celle du tableau qui se trouve à la page 56, on voit qu'elle est la même; on en conclut que la dilatation d'un vase est la même que s'il était un corps massif, résultat qui était déjà très-probable par lui-même. Cette dilatation une fois connue, on cherche, comme on l'a fait pour le mercure, la dilatation apparente des autres liquides; on ajoute à chacune d'elles la dilatation du vase, et on obtient par ce moyen leur dilatation vraie.

Dilatation des gaz. La mesure de la dilatation des gaz peut aussi s'obtenir au moyen d'un tube gradué terminé par une boule, et en opérant comme pour les liquides; mais pour avoir des résultats certains, il faut employer de l'air pur, dépouillé de l'humidité qu'il contient ordinairement. Pour cela on remplit le tube et la boule de mercure distillé qu'on y fait bouillir pour forcer l'eau à s'échapper en vapeur, ensuite on adapte à son extrémité ouverte un autre tube contenant des fragmens d'une substance très-avide d'humidité, comme du sel marin fondu par le feu. (*Voy. fig.* 20). Ce second tube est traversé par un fil de fer qu'on introduit dans le petit appareil pour en faire sortir le mercure en l'inclinant un peu; seulement il faut avoir le soin de laisser une petite goutte de liquide qu'on voit en *a*, fig. 20, pour limiter un volume d'air ou d'un gaz quelconque. D'après la disposition adoptée, le gaz ne peut arriver

dans la boule qu'après avoir traversé le tube *e a*, où il se trouve privé de son humidité. On place alors l'appareil, après en avoir tiré le fil de fer, dans la caisse qui est représentée par la fig. 19; on la remplit de glace fondante, et on observe le volume de l'air renfermé dans le tube gradué; on y introduit ensuite de l'eau qu'on chauffe jusqu'à l'ébullition, au moyen du fourneau sur lequel elle est posée, et on observe de nouveau le volume du gaz. En comparant l'augmentation qui est survenue au volume qu'il avait dans la glace fondante, on trouve, en tenant compte, comme pour les liquides, de la dilatation du vase, qu'elle en est les $\frac{100}{267}$, et cette fraction est la même pour toute espèce de gaz.

Marche comparative des dilatations. Les résultats obtenus par les physiciens qui se sont occupés de la dilatation, font voir de grandes différences sous ce rapport entre les corps naturels, lorsqu'on les fait passer de la température de la glace fondante à celle de l'eau bouillante. Il est nécessaire, avant de quitter ce sujet, de rechercher si ces dilatations sont proportionnelles pour les mêmes températures; de s'assurer, par exemple, si le mercure se dilatant par un certain dégré de chaleur de $\frac{1}{100}$, $\frac{2}{100}$, $\frac{3}{100}$... de la quantité dont il se dilate en passant de la glace fondante à celle de l'eau bouillante, un autre corps se dilatera dans les mêmes circonstances de la même fraction de sa dilatation, lorsqu'il passe aussi de la température de la glace fondante à celle de l'eau bouillante. L'appareil représenté fig. 19 peut être employé pour les gaz; *d o* est le tube à gaz dont nous avons déjà parlé, *d b* est aussi un tube gradué renfermant du mercure. Lorsqu'on chauffe en partant de la température de la glace fondante, et qu'on compare à chaque instant les dilatations du mercure et du gaz, on les trouve constamment proportionnelles jusqu'à la température de l'eau bouillante: et comme cela a lieu pour tous les gaz, on en conclut qu'ils se dilatent aussi tous de la même quantité dans les mêmes circonstances. On peut faire la même comparaison à

des températures inférieures à celles de la glace fondante, et à des températures supérieures à celles de l'eau bouillante; on obtient les premières par des mélanges réfrigérans qu'on introduit dans la caisse, et les dernières en remplaçant l'eau par de l'huile qui puisse supporter un plus haut dégré de chaleur sans entrer en ébullition. MM. Dulong et Petit se sont servi d'un autre procédé susceptible de plus d'exactitude (1), et ils ont trouvé que pour les basses températures la proportionnalité avait encore lieu; mais que pour les températures plus élevées que celles de l'eau bouillante, la dilatation du mercure croissait plus rapidement qu'en proportion avec celle de l'air. La marche comparative des dilatations des liquides s'observe aussi en plaçant des tubes gradués qui en sont en partie remplis, dans un même liquide qu'on chauffe; ils sont par là portés à chaque instant à la même température. Le tableau suivant a été formé en concevant la dilatation de chaque liquide passant de la température de la glace fondante à celle de l'eau bouillante partagée en quatre-vingts parties égales; ces parties ne sont pas les mêmes pour chaque liquide, puisque les uns se dilatent plus que les autres; mais si leurs dilatations étaient proportionnelles, elles devraient être pour chacun d'eux d'un même nombre de parties à la même température. L'inspection des résultats que nous donnons prouve qu'il n'en est pas ainsi.

---

(1) Ceux qui désireraient connaître en détail les savantes recherches de MM. Dulong et Petit sur la chaleur, pourraient consulter les annales de physique et de chimie, années 1818 et 1819.

Marche comparative des thermomètres construits avec différens liquides.

Mercure.	Huile d'olive.	Huile essentielle de camomille.	Huile essentielle de serpolet.	Eau saturée de muriate de soude.	Alcohol très-rectifié.	Une partie d'alcohol et une partie d'eau.	Une partie d'alcohol et trois parties d'eau.	Eau.
80	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
75	74,6	74,7	74,3	74,1	73,8	73,2	71,6	71,0
70	69,4	69,5	68,8	68,4	67,8	66,2	62,9	62,0
65	64,4	64,3	63,5	62,6	61,9	60,6	55,2	53,5
60	59,3	59,1	58,3	57,1	56,2	54,8	47,7	45,8
55	54,2	53,9	53,3	51,7	50,7	49,1	40,6	38,5
50	49,2	48,8	48,3	46,6	45,3	43,6	34,4	32,0
45	44,0	43,6	43,4	41,2	40,2	38,4	28,4	26,1
40	39,2	38,6	38,4	36,3	35,1	33,3	23,0	20,5
35	34,2	33,6	33,5	31,3	30,3	28,4	18,0	15,9
30	29,3	28,7	28,6	26,5	25,6	23,9	13,5	11,2
25	24,3	23,8	23,8	21,9	21,0	19,4	9,4	7,3
20	19,3	18,9	19,0	17,3	16,5	15,3	6,1	4,1
15	14,4	14,1	14,2	12,8	12,2	11,1	3,4	1,6
10	9,5	9,3	9,4	8,4	7,9	7,1	1,5	0,2
5	4,7	4,6	4,7	4,2	3,9	3,4	0,1	— 0,4
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Chaque ligne contient les parties de dilatation observées dans les mêmes circonstances pour les différens liquides dont les noms sont inscrits au haut des colonnes.

Les dilatations des solides étant faibles, il serait difficile de s'assurer si elles sont pour de petites différences de température proportionnelles à celles du mercure ou proportionnelles entre elles; on le suppose, et les erreurs qui en résultent probablement portent sur des quantités trop petites pour être sensibles. Quand les différences de température sont grandes, et sur-tout à de hautes températures, on observe des irrégularités comme dans les liquides.

Trempe. Lorsque par un moyen quelconque on refroidit subitement certains corps pendant qu'ils sont à de hautes températures, les parties les plus éloignées de leur centre éprouvent cet effet avant celles qui l'occupent, et les différentes couches à partir de la surface ne se contractent pas autant qu'elles l'eussent fait si le refroidissement eût été lent, parce que la matière qu'elles renferment étant encore dilatée s'y oppose. Il en résulte un état forcé, une structure différente, une densité moindre, et quelquefois encore d'autres propriétés nouvelles. Le moyen le plus employé pour produire cet effet est l'immersion dans un liquide froid, le plus souvent dans de l'eau; c'est pour cela qu'on appelle corps trempés ceux qui sont dans cet état. On trempe l'acier pour les besoins des arts; il devient par cette opération beaucoup plus élastique et plus dur: et ces propriétés sont extrêmement précieuses, sur-tout la dernière qui permet de travailler l'acier non trempé pour en faire des instrumens qu'on trempe ensuite, afin de leur donner la dureté convenable. Les larmes bataviques qu'on prépare pour amuser les enfans, ne sont autre chose que des gouttes de verre fondu qu'on a laissé tomber dans de l'eau froide; les atomes de l'intérieur qui n'ont pu se rapprocher pendant le refroidissement, parce qu'ils étaient liés par l'attraction à la première couche, font sans cesse effort pour diminuer la distance qui les sépare, et aussitôt qu'on rompt l'enveloppe qui les retient, ils se réunissent dans un grand nombre d'endroits de manière à former de petits grains indépendans les uns des autres, de sorte que le petit morceau de verre se réduit en poudre; le bruit qui se fait entendre alors est dû à l'ébranlement causé dans l'air par cette action.

L'acier trempé, loin de se dilater comme tous les autres corps lorsqu'on l'échauffe, se contracte au contraire jusqu'à un certain dégré de chaleur, qui est moindre que celui de l'eau bouillante: pour les températures supérieures, il rentre dans la loi générale. La diminution de volume qu'il éprouve d'abord, vient sans doute de ce que la chaleur donne lieu aux

molécules de quitter les positions relatives que la trempe les avait forcées de prendre, pour revenir à celles qu'elles ont quand l'acier n'est pas trempé; cette opinion devient très-probable, quand on remarque que la chaleur fait perdre à l'acier les propriétés qu'il avait acquises par la trempe, et qu'il ne les reprend que quand on le trempe de nouveau.

Différens états sous lesquels les corps se présentent. La chaleur en dilatant les corps ou en éloignant leurs molécules, diminue l'attraction mutuelle des atomes qui les composent, et par conséquent leur solidité. Certains corps, comme le verre, les graisses, passent alors par différens dégrés de consistance; ils s'amollissent, deviennent pâteux, et finissent enfin par arriver à l'état de liquidité; d'autres, comme le plomb, passent subitement de l'état solide à l'état liquide, et ne nous présentent pas ces états intermédiaires qui sont si bien prononcés dans le verre, le fer et plusieurs autres corps. Ce passage de l'état solide à l'état liquide est plus ou moins immédiat, parce que l'attraction mutuelle des atomes, qui est la cause de la solidité des corps, diminue à mesure que leur distance augmente, et cela plus ou moins rapidement suivant leur forme et leur volume.

Fluides. Quand les corps sont parvenus à l'état fluide, leurs parties sont constamment soumises à l'action de trois forces : Une force expansive due aux mouvemens atomiques, une force de contraction due à l'attraction mutuelle des atomes, et une troisième qui tient à la pression de l'air ou à des causes accidentelles. Les deux premières ont été établies précédemment (pag. 52); l'existence de la dernière est évidente : un liquide qui remplit un vase est pressé par l'air qui repose sur sa surface, et en supporte tout le poids. Dans le cas où le vase est fermé ou placé dans un espace clos de toutes parts, ou bien quand le vase est renversé, la force expansive de l'air, qui est plus ou moins grande suivant les circonstances, est alors la cause de la pression. Les différentes couches horizontales dans

lesquelles on peut concevoir le fluide décomposé, pressent aussi par leurs poids celles qui sont au-dessous ; par exemple, l'air de la plaine est plus pressé que celui qui se trouve au haut de la montagne. Ces trois forces sont constamment aux *prises*, et le volume des fluides dépend de leur intensité relative; sa grandeur est toujours telle que ces forces se font équilibre entre elles. Leur intensité varie d'ailleurs avec ce volume; quand il s'agrandit, la force expansive diminue parce que les mouvemens des atomes deviennent plus libres; elle finirait même par s'anéantir complètement, si, ce que l'attraction ne peut pas permettre, les atomes s'éloignaient assez pour ne plus se toucher. La force avec laquelle les atomes s'attirent, ou la force de contraction, diminue à mesure que le volume augmente, mais suivant une autre loi; et elle ne deviendrait jamais nulle, quelle que fût la distance qui séparât les atomes. Dans ce qui va suivre, nous désignerons la force expansive par E, la force de contraction par C, et la pression par P; l'équilibre entre ces trois forces peut s'exprimer par l'équation $E = C + P$, car la force expansive tendant à augmenter le volume du corps, et les deux autres forces tendant à le diminuer, la première doit à elle seule les égaler toutes deux.

Pour constater l'équilibre, il suffit de diminuer la pression P. Pour cela, on place l'appareil de la fig. 16 sous le récipient de la machine pneumatique, puis on fait le vide en partie, et on attend que la température que cette opération a pu faire varier (voyez pag. 35), soit revenue au même point qu'avant l'extraction de l'air. Alors on s'aperçoit que le liquide occupe un plus grand espace que quand il supportait la pression de l'atmosphère : sa hauteur dans le tube est plus considérable. Ceci nous prouve l'exactitude de l'équation $E = C + P$; car si E était moindre que $C + P$, le volume n'augmenterait pas aussitôt qu'on diminue la pression, et si la force E eût été supérieure à $C + P$, le volume se serait accru sans la diminution de pression, ce qui n'a pas eu lieu.

En plaçant sous le récipient de la machine pneumatique l'appareil de la fig. 17, on pourra constater que les gaz sont

dans le même état; un seul coup de piston suffira pour éloigner l'index de la boule et indiquer par conséquent une augmentation de volume résultant d'une diminution de pression.

D'après cela, nous devons regarder chaque petite parcelle d'un liquide ou d'un gaz comme tendant sans cesse à augmenter en volume, et n'en étant empêchée que par la pression; ce n'est qu'aux limites supérieures de l'atmosphère que peuvent se trouver des fluides non comprimés, et ayant à peu près le volume qu'ils tendent sans cesse à prendre.

Mobilité relative des particules des fluides. Transmission des pressions. Rien de plus facile à concevoir maintenant que la grande mobilité relative des parties des fluides, puisqu'elles sont sous l'influence de forces contraires qui se détruisent. Cette mobilité et la force expansive font naître dans les fluides une propriété dont les solides sont privés, celle de transmettre sans perte, dans toutes les directions, les pressions qu'on leur fait supporter.

La fig. 26 représente un vase ayant quatre tubulures cylindriques égales A, B, C, D. On ferme d'une manière fixe la tubulure C, et on introduit en D un liège préparé avec beaucoup de soin, et un peu huilé à sa surface; il doit entrer avec un frottement modéré : ensuite on verse lentement de l'eau dans le vase, et on observe la hauteur à laquelle elle s'y élève, lorsque par son poids elle parvient à chasser le liège. Il est évident que cet effet est dû à la colonne de liquide située au-dessus du liège, et dont il supporte tout le poids.

Ensuite on recommence la même expérience en fermant solidement la tubulure D; et introduisant le liège en C, on est obligé pour le chasser d'élever l'eau à la même hauteur que dans le premier cas. Nous concluons de là que la pression due au poids de l'eau se transmet aussi bien latéralement que sur le fond du vase.

Le vase étant totalement rempli, les tubulures C et D fermées, on introduit en A et en B des pistons pareils, et

dont les têtes sont disposées pour recevoir des poids; on ajoute alors un poids quelconque sur le piston A, et on observe que, pour maintenir l'équilibre, il faut en placer un égal sur le piston B; sans cela il sortirait, et le liquide s'élèverait de bas en haut : ceci prouve que la transmission des pressions a lieu même dans ce sens sans aucune perte.

Pour expliquer ces effets, il faut se rappeler que les liquides font sans cesse effort pour augmenter en volume; que cet effort, en même temps que le volume diminue, augmente avec la pression et de la même quantité, puisque l'égalité $E=C+P$ doit toujours subsister. Or, la force expansive s'exerçant dans toutes les directions de la même manière, chaque particule de liquide doit presser autant dans tous les sens; le liquide en CD doit donc agir de même sur C et sur D. Toutefois, la pression sera toujours d'autant plus forte qu'il y aura plus de liquide au-dessus de la partie considérée, parce que la force expansive est d'autant plus grande que le liquide est plus pressé. Les poids qu'on place sur le piston A dans la dernière expérience compriment le liquide, sa force expansive augmente de la quantité nécessaire pour faire équilibre à ce surcroît de pression, l'effort du liquide pour se dilater devient d'autant plus considérable, et cet effort, comme nous l'avons déjà dit, s'exerce en tout sens et par conséquent en D. Tout ceci s'applique aux gaz et aux vapeurs, et on peut dire que tous les fluides transmettent les pressions dans tous les sens.

Baromètre. Les baromètres sont des instrumens qui servent à faire connaître la pression de l'air, et dont l'usage repose sur le principe que nous venons de démontrer. Le plus souvent on les construit ainsi : on prend un tube de verre ou de cristal d'environ 0^m, 008 au moins de diamètre intérieur fermé par l'une de ses extrémités; on chasse l'humidité qu'il pourrait contenir en le chauffant et renouvelant l'air au moyen d'un soufflet adapté à un tube de verre plongeant dans son intérieur. Le tube étant bien sec, on le remplit

de mercure pur à l'aide d'un petit entonnoir, et on y fait bouillir le mercure : pour cela on l'incline légèrement, et on tient l'extrémité fermée au-dessus d'un fourneau contenant quelques charbons allumés ; on le tourne en différens sens, afin d'exposer tous les points de sa surface à l'action du feu.

Le mercure contenu dans cette partie du tube ne tarde point à bouillir ; on chauffe alors, et on porte successivement au dégré de l'ébullition les portions de mercure qui se trouvent immédiatement au-dessus de celles qui ont déjà bouilli, et l'on continue ainsi à chauffer jusqu'à ce que l'on soit arrivé à l'extrémité supérieure, ayant soin de placer au-dessous de cette extrémité un vase pour recevoir le mercure que l'ébullition fait sortir du tube.

Lorsque l'on a fait bouillir tout le mercure, on achève de remplir le tube avec du mercure bouilli d'avance; d'une autre part, on remplit presque en totalité de mercure également bouilli, un réservoir ou cuvette de verre, dont la partie moyenne est très-large; puis en tenant le doigt appliqué sur l'orifice du tube, on l'y plonge verticalement. On retire le doigt, et on voit à l'instant le mercure descendre dans le tube à la hauteur de $0^m,76$ environ (voyez fig. 27).

L'élévation du mercure dans un tube fermé, à $0^m,76$ environ au-dessus de son niveau extérieur, fut découverte par Toricelli, disciple de Galilée; elle est due à la pression que l'air exerce, en vertu de son poids, sur la surface du mercure de la cuvette, pression qui se transmet au mercure du tube, à cause de l'augmentation qu'elle occasionne dans la force expansive du mercure de la cuvette. Le mercure qui est en A reste en équilibre, pressé d'un côté par le poids de la colonne de mercure A B, et de l'autre supportant la pression de l'air qui lui est transmise : ces deux forces sont égales, et l'une peut nous faire connaître l'autre. Pour faire usage de cet instrument, il ne reste plus qu'à y adapter une échelle avec laquelle on puisse à chaque instant évaluer la hauteur de la colonne A B. Pour les baromètres les plus communs, on

attache le tube et la cuvette à une planche qui porte des divisions, et dont le zéro correspond au niveau du mercure dans la cuvette; quand on veut juger du poids de la colonne atmosphérique, on regarde à quelle division correspond le niveau du mercure dans le tube.

Cette construction est assez imparfaite, parce que le niveau du mercure dans la cuvette n'est pas constant; il s'élève quand le niveau baisse dans le tube, ce qui arrive toutes les fois que le poids de la colonne atmosphérique diminue; il s'abaisse dans le cas contraire. Le zéro ne se trouvant plus placé convenablement, on n'a pas, en consultant l'échelle, la mesure exacte de la colonne de mercure qui se tient dans le tube au-dessus de son niveau extérieur. On remédie à cet inconvénient en faisant le fond de la cuvette en peau, et plaçant au-dessous une vis qui puisse le presser en son milieu et le soulever en cet endroit, de manière à lui faire prendre la forme d'un fond de bouteille lorsqu'on la tourne dans un sens, et qui lui permette d'obéir au poids du mercure lorsqu'on la tourne en sens contraire. Avec cette vis on pourra toujours faire monter ou descendre le niveau du mercure de la cuvette, et le faire correspondre au zéro de l'échelle; alors le numéro de la division correspondant au niveau du mercure dans le tube indiquera la hauteur de la colonne barométrique, dont le poids fait équilibre à celui d'une colonne atmosphérique ayant même base. Au lieu de rendre le fond de la cuvette mobile, on peut faire mouvoir l'échelle, de manière que son zéro vienne correspondre au niveau du mercure de la cuvette. Dans tous les cas, quand on veut atteindre un grand dégré d'exactitude, il faut toujours adapter un vernier à l'échelle et lui donner une position bien exactement verticale.

Les baromètres à cuvette ne sont pas très-portatifs; en voyage, on doit préférer les baromètres à siphon. Ceux-ci se composent essentiellement d'un tube recourbé en siphon ABC, *fig.* 28; la longue branche est fermée en A; la petite branche est ouverte, le mercure occupe l'espace MBC et reçoit en C la pression de l'air; l'espace AM est vide. Si on conçoit

la surface horizontale C prolongée jusqu'à ce qu'elle coupe en N la grande branche, les poids des deux colonnes BC et BN se feront équilibre, et la pression de l'air se transmettant en N soutiendra une colonne de mercure NM, qui mesurera la pression de l'atmosphère; cette colonne s'évalue en mesurant la hauteur de BC, celle de BM, et retranchant la première de la seconde; ou bien on adapte à la monture du baromètre une échelle mobile, dont on amène le zéro à la hauteur du point C quand on veut faire une observation. M. Gay-Lussac a perfectionné ce baromètre et l'a rendu d'un usage très-commode; nous rapporterons textuellement la description qu'il a donnée de son nouveau baromètre dans les *Annales de physique*, tome 1, pag. 115.

« Pour mieux faire concevoir ce qui caractérise le nouveau baromètre, dit M. Gay-Lussac, je le supposerai dépouillé de sa monture, qu'on peut varier d'ailleurs d'une infinité de manières :

» La *figure* 28 représente le tube barométrique dans sa situation propre à l'observation. N *n* sont les deux niveaux du mercure; la grande branche AB est d'un égal diamètre jusqu'en F. En ce point, le tube AF est soudé avec un autre tube FBC fort en verre, dont le diamètre intérieur doit être de 1 à 2 millimètres. La petite branche CD du baromètre doit avoir le même diamètre que la partie AF de la grande. Elle est fermée en D; mais en E, à la distance de 2 à 3 centimètres de D, se trouve un petit trou capillaire par lequel le mercure ne peut point s'échapper à moins d'une pression très-grande, et qui néanmoins permet à l'air d'entrer dans la cuvette, et d'en sortir librement.

» La *fig.* 29 représente le baromètre renversé : le mercure occupe la partie CBFA du tube, et l'excédant est logé en D. Il convient que cet excédant soit nul ou au moins très-petit. On fait sortir aisément le mercure en tenant la branche CD horizontalement, le trou E en dessous; le mercure étant au-dessus du trou, on dilate l'air en chauffant la branche CD, et le mercure est alors expulsé. Si, au contraire, on

veut faire rentrer du mercure dans le baromètre, on le plonge, dans la situation où le représente la *fig.* 28, dans un bain de mercure jusqu'au-dessus du trou E, et on incline le tube. L'air étant alors dilaté dans la branche CD, le mercure y rentrera, pourvu que la perte de l'élasticité de l'air soit plus grande que la longueur de la colonne dont le mercure s'abaisserait dans un tube dont le diamètre serait égal à celui du trou. J'ai supposé ici que le baromètre n'avait d'autre ouverture que le trou capillaire E; mais il est bien plus facile de régler le baromètre pendant qu'il est ouvert en D.

» La *fig.* 30 représente le baromètre dans la même position que la *fig.* 29, avec cette différence seulement que la branche BFA est supposée vide de mercure depuis B jusqu'en G, ce qui peut arriver en imprimant au baromètre des secousses violentes. Dans ce cas, l'instrument ne pourrait plus servir si le tube CBGF avait un diamètre aussi grand que le tube AF, parce qu'en renversant l'instrument, l'air contenu en BG monterait nécessairement dans sa partie supérieure; mais si le tube CBGF n'a au plus que 2 millimètres, comme je l'ai indiqué, la colonne GF du mercure ne pourra pas être divisée par l'air, et celui-ci sera expulsé par la chute du mercure lorsqu'on retournera le baromètre. Il arrivera même quelquefois que la colonne GA restera suspendue, quoique plus grande que la pression barométrique; mais en donnant une légère secousse à l'instrument de haut en bas, la colonne tombera aussitôt, et l'air contenu en BG sera chassé.

» Il y a donc deux choses qui caractérisent le nouveau baromètre : 1°. le petit trou capillaire E, qui laisse une libre circulation à l'air, et empêche cependant le mercure de sortir; 2°. le tube CBF, d'un diamètre assez étroit pour que l'air ne puisse pas diviser la colonne de mercure, comme cela a lieu dans l'ingénieux baromètre conique d'Amontons.

» En construisant ce baromètre, il faut que l'artiste ait l'attention de ne point porter d'huile dans la branche BCD, soit en la fermant en D, soit en faisant le petit trou E. J'ai déjà dit que c'est l'huile ou tout autre corps gras qui est la

cause de la poudre noire ou de la crasse qui se forme dans les baromètres, quand le mercure est d'ailleurs bien pur, et on ne saurait l'exclure avec trop de soin. J'ai fait faire plus de 500 lieues à mon baromètre; M. Descostils, dans un voyage en Italie, lui en a fait faire plus de 1200, et je puis affirmer que le mercure était aussi net que le premier jour, malgré les secousses continuelles auxquelles il a été exposé dans une chaise de poste. . . . . .

» Le transport de ce baromètre est très-facile, et il ne pourra se déranger si on a l'attention de le tenir renversé, comme l'indiquent les *fig.* 29 et 30, ou au moins incliné sous un angle de 15 à 30 dégrés. J'ai annoncé qu'il ne fallait pas plus d'une minute pour l'observer, et en effet, il suffit de le renverser pour qu'il se prête immédiatement à l'observation.

» On peut le monter de plusieurs manières; par exemple, le mettre dans une canne fendue dans toute sa longueur, et qui s'ouvre à charnière; mais je préfère l'enfermer dans un tube creux de métal, fendu dans une partie de sa longueur, comme l'indique la *fig.* 31, et recouvert par un tube qui peut glisser longitudinalement ou tourner à léger frottement sur le premier. Si l'on adopte cette dernière construction, le tube extérieur doit être aussi fendu, pour laisser voir la colonne du mercure, ou la cacher, suivant que les fentes des deux tubes seront ou ne seront pas appliquées l'une sur l'autre.

» On peut encore, si l'on veut avoir un instrument peu dispendieux, tracer les divisions sur le verre même, et enfermer le tube barométrique dans un tube de fer-blanc qui s'ouvre à ses deux extrémités. Il n'est pas alors nécessaire de se servir d'un vernier, parce que les divisions étant près du mercure, on évite facilement l'effet de la parallaxe, et on peut, avec un peu d'habitude, évaluer à l'œil nu $\frac{1}{8}$ et même $\frac{1}{10}$ de millimètre, pourvu que l'on observe l'origine de la courbe du mercure. Enfin, si l'on voulait se conserver la facilité

de nettoyer le tube CD, *fig.* 28, dans la crainte que le mercure ne se ternisse à la longue, on pourrait se contenter de le fermer en D avec une peau ou avec un liège.

» La manière de se servir du nouveau baromètre ne présente aucune difficulté ; on observe la hauteur de la colonne inférieure et celle de la colonne supérieure, et on les retranche l'une de l'autre. Si les deux branches sont d'un égal diamètre, il suffira d'observer la hauteur de la colonne supérieure, et de doubler les variations apparentes pour avoir les variations réelles. Lors même que les deux branches n'auraient pas un égal diamètre, on pourrait encore se contenter d'une seule observation, pourvu que l'on connût les vraies différences de niveau de centimètre en centimètre, parce que, dans l'intervalle, on pourrait regarder, sans erreur sensible, les deux branches comme ayant le même diamètre. Cet avantage, commun à tous les baromètres à siphon, est très-précieux pour les voyages géologiques, car on fait d'autant plus d'observations qu'elles sont plus faciles à faire. »

Pour le construire, M. Gay-Lussac recommande, 1.°, de prendre le tube CD d'un diamètre sensiblement égal au tube FA, fig. 29 et 30; 2°. de fermer le tube AF en A; 3°. de souder l'extrémité F avec le tube presque capillaire FBC, et l'extrémité de celui-ci avec le tube CD, un peu effilé à son extrémité D, et percé d'un petit trou en E; 4°. de faire bouillir le mercure dans ce baromètre, comme dans les baromètres ordinaires, et de se servir, pour le faire bouillir dans le tube FBC, d'un fil de fer, afin de faciliter le dégagement des bulles aériformes; 5°. de ne laisser ensuite du mercure que dans les deux tiers du tube FBC; de courber le tube en B, comme le représentent les fig. 28, 29 et 30, après avoir fermé le tube CD en D, et de régler le baromètre comme il a été indiqué précédemment.

L'espace contenu au-dessus de la colonne barométrique se nomme la chambre du baromètre; on ne peut pas faire de vide plus parfait, et cependant le mercure étant un liquide, l'analogie doit nous porter à penser qu'il s'en réduit une partie

en vapeur, et que cette partie remplit la chambre du baromètre, de même que cela arrive quand on y fait parvenir de l'eau ou un autre liquide. Il résulterait de là qu'en employant la manière d'opérer en usage, le baromètre n'indiquerait pas la pression de l'air, parce que la force expansive de sa vapeur ferait descendre un peu sa surface (voyez pag. 83); mais comme cette force expansive est très-faible, puisqu'il faut un haut dégré de chaleur pour l'amener à surmonter la pression atmosphérique (le mercure bout à 350°), l'erreur qu'elle occasionne aux températures ordinaires est insensible. Toutefois, il sera utile dans la suite de ne pas perdre de vue l'imperfection du vide barométrique, parce que la vapeur qui s'y trouve peut modifier plusieurs phénomènes qu'on y observe.

Variations du baromètre. La hauteur du baromètre varie avec la hauteur des lieux au-dessus de la mer, et dans chaque lieu elle varie avec le temps. L'influence de la première cause se conçoit très-facilement : si on transporte au sommet d'une tour un baromètre qui indiquait au bas de cette tour $0^m,76$ pour mesure de la pression atmosphérique, le mercure supportant de moins le poids de l'air qui se trouve au-dessous de cette seconde position, la colonne soutenue sera plus petite d'une certaine quantité; par exemple, pour une élévation de 10^m 8, la diminution indiquée par l'expérience est environ d'un millimètre. On peut même faire servir ce phénomène à la mesure de la différence de hauteur de deux lieux; mais ce moyen n'est pas aussi facile à employer qu'on pourrait le penser d'abord, parce que plus on s'élève et moins l'air est comprimé; de sorte qu'une colonne d'air double de 10^m 8 n'aurait pas tout-à-fait un poids double, et occasionnerait par conséquent un abaissement moins grand que deux millimètres dans la hauteur du baromètre : des stations placées à des hauteurs telles qu'en passant de l'une à l'autre le baromètre s'abaisse toujours d'un millimètre, sont d'autant plus éloignées les unes des autres qu'elles sont plus élevées. Diverses méthodes ont été adoptées successivement pour tenir compte des

changemens de densité que l'air éprouve suivant son élévation; mais ces changemens reconnaissant plusieurs causes, elles ont toutes été trouvées vicieuses, jusqu'à ce que M. Laplace, s'emparant de ce sujet, ait analysé toutes les circonstances qui concourent pour modifier les résultats, et appris aux physiciens à faire les corrections nécessaires pour les ramener au dégré de simplicité qu'on avait à tort supposé et d'où on était parti. Cette méthode exige de trop longs développemens pour trouver place ici; nous renverrons ceux qui désireraient en acquérir une connaissance approfondie, au *Traité d'astronomie physique* de M. Biot, additions, pag. 1, et nous nous bornerons à faire connaître sans aucune démonstration la manière de la mettre en pratique.

Pour cela, il faut que deux personnes observent au même instant la hauteur du baromètre, et au moyen d'un thermomètre placé à l'ombre la température de l'air aux deux stations; il est même utile, pour être mieux assuré de l'exactitude des résultats, de faire dix ou douze observations de quart-d'heure en quart-d'heure aux mêmes momens, et d'en prendre les moyennes. Désignons par h (1) et t la hauteur du baromètre et la température à la station supérieure, par H et T les quantités analogues pour la station inférieure, l la latitude du lieu où se fait l'observation, et par X la différence de hauteur des deux stations; toutes ces quantités sont connues, à l'exception de X qu'il s'agit de déterminer.

---

(1) La station supérieure offrant ordinairement une température différente de celle de la station inférieure, l'indication du baromètre dépendra de cette température, puisque la chaleur change la densité du mercure; h désigne la hauteur ramenée à ce qu'elle serait si la chaleur était la même à la station supérieure qu'à la station inférieure. On obtient cette quantité en multipliant la hauteur observée h' par $\left(1+\frac{T'-t'}{5412}\right)$, T' et t' désignant les températures du mercure du baromètre aux stations inférieure et supérieure, observées au moyen d'un thermomètre adapté à la monture même du baromètre, pour qu'il en prenne bien exactement la température.

Cela posé, il suffira pour en obtenir la valeur avec toute l'exactitude désirable, d'effectuer les calculs indiqués par la formule suivante :

$$X = 18393^{m} (1 + 0{,}002837 \cos. 2l) \left\{ 1 + \frac{2(T+t)}{1000} \right\} \log. \frac{H}{h}$$

En répétant cinq ou six fois la série d'observations qui conduit à ce résultat, et prenant une moyenne entre les valeurs obtenues pour X, on serait sûr de ne pas commettre une erreur de plus de 6 à 7 mètres sur une hauteur de 5000 à 6000 mètres.

Les causes des variations du baromètre dans le même lieu ne nous sont pas bien connues ; elles proviennent sans doute des changemens qui arrivent dans l'atmosphère : la quantité d'humidité, les vents, la chaleur doivent évidemment entrer dans leur énumération ; mais peut-être en est-il encore d'autres. Quoi qu'il en soit, elles sont assez multipliées pour qu'on n'ait pas pu jusqu'à présent faire la part de chacune, et expliquer ces variations d'une manière précise : nous ne pouvons donc qu'indiquer les résultats fournis par l'expérience. On distingue ordinairement deux espèces de variations dans le baromètre : les variations accidentelles et les variations horaires ; celles-ci se reproduisent régulièrement à certaines heures, les autres surviennent irrégulièrement, et on ne peut en prévoir ni l'époque, ni l'étendue.

Dans nos climats on observe le baromètre quatre fois par jour :

A neuf heures du matin,
A midi,
A trois heures après midi,
A neuf heures du soir.

On a remarqué que l'observation de midi donnait la hauteur moyenne du jour, de sorte que la moyenne de toutes les observations faites à cette heure pendant un mois, fait connaître la hauteur moyenne du mois. La moyenne

entre les hauteurs moyennes des douze mois donne la hauteur moyenne de l'année, et on obtient, en opérant de même sur celles-ci, la hauteur moyenne d'un nombre quelconque d'années. Ces résultats se trouvent compris pour Paris dans le tableau suivant, ainsi que les hauteurs *minimum* et *maximum* pendant chaque année.

ANNÉES.	HAUTEUR moyenne.	MINIMUM.	MAXIMUM.	DIFFÉRENCE.
	millimètres.	millimètres.	millimètres.	millimètres.
1816	754,161	730,57	772,76	42,19
1817	756,400	730,61	772,92	42,31
1818	756,063	733,78	771,49	37,71
1819	755,103	738,56	772,45	33,89
1820	756,002	733,19	769,67	36,48
1821	756,065	719,03	780,89	61,86
1822	757,472	737,18	771,46	34,28
1823	754,969	723,05	772,30	49,25
1824	755,750	728,87	773,45	44,58
1825	757,679	728,63	776,46	47,83
Moyenne des 10 années.	755,966	730,35	773,38	43,04

Les résultats obtenus pendant les quatre années suivantes sont :

Pour 1826. . . . . 757, 27.
1827. . . . . 756, 01.
1828. . . . . 756, 06.
1829. . . . . 755, 13.

La hauteur moyenne déterminée pour les quatorze années se trouve être la même que pour dix années, de sorte qu'on peut prendre pour hauteur moyenne du baromètre dans un pays celle de dix années. Il serait très-utile de la déterminer exactement pour chaque lieu; on pourrait, connais-

sant d'ailleurs la hauteur moyenne au niveau de la mer, s'en servir pour déterminer d'une manière précise la position géographique des différens points de la surface terrestre.

La moyenne entre les hauteurs observées pendant le règne de chaque vent, prouve qu'ils ont une influence qui n'est pas la même. La plus petite hauteur correspond aux vents du sud, sud-ouest, et la plus grande aux vents du nord, nord-d'est; la différence s'élève à plus de 7 millimètres.

VENTS.	NOMBRE des observations.	HAUTEURS à midi.
Sud.	682	752,98
Sud-ouest.	727	752,38
Ouest.	853	756,08
Nord-ouest.	335	758,67
Nord.	483	759,76
Nord-est.	378	759,89
Est.	324	757,04
Sud-est.	231	754,60
Moyenne.		756,42

En prenant les hauteurs moyennes annuelles pour les différentes heures du jour, on trouve qu'elles diffèrent de quantités assez remarquables; c'est par ce moyen qu'on parvient à rendre évidentes les variations horaires.

Hauteurs moyennes annuelles du baromètre pour les différentes heures du jour, et variations diurnes moyennes qui s'en déduisent.

ANNÉES.	A 9 heur. du matin.	A 3 heur. du soir.	A 9 heur. du soir.	VARIATIONS moyennes de 9 h. du m. à 3 h. du s.	VARIATIONS moyennes de 3 h. du s. à 9 h. du s.
	mm	mm	mm	mm	mm
1816	754,359	753,683	754,051	0,676	0,375
1817	756,676	755,914	756,510	0,762	0,597
1818	756,382	755,473	755,961	0,909	0,488
1819	755,343	754,581	754,993	0,762	0,412
1820	756,325	755,611	755,973	0,714	0,362
1821	756,276	755,598	756,068	0,678	0,470
1822	757,728	757,011	757,310	0,717	0,382
1823	755,197	754,493	754,773	0,704	0,280
1824	755,984	755,269	755,569	0,715	0,300
1825	757,966	757,122	757,224	0,844	0,102
1826	757,584	756,756	757,087	0,828	0,331
Moyennes	756,347	755,591	755,956	0,756	0,373

On voit par ce tableau que les variations de 9 h. du matin à 3 h. du soir sont toujours plus grandes que de 3 h. du soir à 9 h. du soir, quoique ces temps soient les mêmes.

Les saisons ont aussi une influence sur ces résultats. Le tableau suivant, qui contient les hauteurs moyennes de tous les mois de même nom qui se sont écoulés depuis 1816 jusqu'à 1827, fait voir que les variations de 3 h. du soir à 9 h. du soir sont peu différentes pendant les différens mois de l'année, mais que celles qui s'observent de 9 h. du matin à 3 h. du soir ne sont pas les mêmes; elles sont moindres pendant les mois de novembre, décembre et

janvier ; elles sont plus grandes pendant les mois de février, mars, avril.

Hauteurs moyennes du baromètre prises pour les mois de mêmes dénominations.

De 1816 à 1827.	A 9 h. du matin.	A 3 h. du soir.	A 9 h. du soir.	VARIATIONS moyennes de 9 h. du m. à 3 h. du s.	VARIATIONS moyennes de 3 h. du s. à 9 h. du s.
	mm	mm	mm	mm	mm
Janvier.....	758,106	757,429	757,690	0,677	0,261
Février.....	758,165	757,236	757,557	0,929	0,321
Mars.....	756,203	755,406	755,823	0,797	0,500
Avril.....	755,253	754,243	754,780	1,010	0,537
Mai.....	755,253	754,440	754,786	0,813	0,346
Juin.....	757,307	756,600	756,875	0,707	0,275
Juillet.....	756,554	755,817	756,140	0,737	0,323
Août.....	756,807	755,953	756,271	0,854	0,318
Septembre.	756,773	755,972	756,432	0,801	0,460
Octobre....	754,772	754,021	754,522	0,751	0,501
Novembre..	755,822	755,277	755,660	0,545	0,383
Décembre..	755,152	754,703	754,950	0,449	0,247
Moyennes.	756,347	755,591	755,950	0,756	0,373

Le vent influe aussi sur ces variations ; elles sont presque nulles par les vents du sud, et les plus grandes par les vents du nord.

M. de Humboldt a constaté, par une série d'expériences faites en Amérique, que la hauteur du baromètre éprouvait aussi des variations pendant la nuit ; il descend de 9 h. du soir à 4 h. du matin environ, et monte de 4 h. à 9 h. du matin.

Les observations faites dans différens pays ont encore prouvé que les variations diurnes de la hauteur de la colonne barométrique diminuent à mesure que la latitude augmente.

Tableau des variations diurnes du baromètre suivant les latitudes.

OBSERVATEURS.		PERIODE DIURNE.
		m
Humboldt et Bonpland.	Amérique équatoriale, lat. 23° nord à 12° sud, entre 0t à 1500t d'élévation.	2,55
La Condamine. .	A Quito, au Pérou, à 0° de lat. et à 1492t au dessus de la mer.	2,82
Duperrey.	A Payta, côtes du Pérou, lat. 5° au niveau de la mer.	3,40
Bussingault et Rivero.	Santa-Fé de Bogota, à 4° 35′ nord, à 1366t d'élévation.	2,39
Dorta, Freycinet et Erchwege. .	La Guiara, 10° 36′ nord, au bord de la mer.	2,44
	Brésil, Rio-Janeiro, lat. 22° 54′ sud, et aux Missions des Indiens.	2,34
Léopold de Buch.	Las-Palmas, Canaries, lat. 28° 8′ nord.	1,10
Coutelle.	Au Caire, Egypte, lat. 30° 3′ nord.	1,75
Marqué-Victor. .	Toulouse, lat. 43° 34′ nord.	1,20
Gambart.	Marseille, lat. 43° 18′ nord.	0,72
Billet.	Chambéry, lat. 45° 34′ nord, 137t d'élévation.	1,00
Ramond.	Clermont-Ferrand, lat. 45° 46′ nord, 210t.	0,94
Herrenscheneider.	Strasbourg, lat. 48° 34′ nord. . . .	0,80
Bouvard aîné. . .	Paris, Observatoire, lat. 48° 50′ n.	0,76
Nell de Bréauté. .	La Chapelle, près Dieppe, lat. 49° 55′ nord.	0,36
Basse et Sommer.	Kœnisberg, lat. 54° 42′ nord. . . .	0,20
Parry.	Sous une latitude 74° nord.	0,00

Tous ces résultats ont d'autant plus d'importance qu'ils pourront peut-être un jour conduire les physiciens à la connaissance de ce qui se passe dans les hautes régions de l'atmosphère, des grands mouvemens qui s'y exécutent.

Toutefois, on n'est pas encore parvenu à prédire, d'après les indications du baromètre, les changemens prochains dans l'atmosphère : on a bien remarqué qu'assez souvent le baromètre descend quand le temps se dispose à la pluie ou quand il y a de l'agitation dans l'air, et qu'il monte aux approches d'un temps calme et serein ; mais l'observation prouve que la pluie et le beau temps n'ont pas une influence constante et réglée sur la hauteur du baromètre qui n'indique d'une manière certaine que la pression de l'atmosphère.

Variations de volume des fluides. Le volume des fluides peut varier, ainsi que nous l'avons démontré précédemment, soit par des changemens survenus dans la pression qu'ils supportaient, soit par une augmentation ou une diminution de chaleur, ou bien encore par ces deux causes agissant simultanément. Sachant de quelle manière les pressions se transmettent, et quelles sont les forces auxquelles sont soumises les parties des liquides, nous pouvons maintenant étudier les lois suivant lesquelles s'opèrent ces variations, et chercher à faire concevoir les changemens subits qu'on observe dans certains cas. Nous prendrons l'eau pour exemple, et pour plus de facilité, nous ferons varier la pression et la température successivement.

Variations dues à la pression. Sous la dénomination de fluide on comprend deux états, l'état liquide et l'état de vapeur. La *fig.* 32 représente l'appareil qu'on emploie pour constater les variations de volume qui surviennent dans les vapeurs par suite des changemens de pression : AD est un tube de verre fermé en A, ayant au moins $0,^{m}008$ de diamètre intérieur et $1,^{m}1$ de hauteur environ ; la partie supérieure de ce tube est environnée d'un manchon de verre BE ; PQ est une éprouvette à pied presque totalement remplie de mercure. Lorsqu'on veut faire des expériences sur la vapeur d'un liquide, on remplit d'abord de mercure le tube DA avec les mêmes précautions que si on voulait en

faire un baromètre; puis en tenant le doigt sur l'orifice, on le renverse et on le plonge dans le mercure de l'éprouvette; dans cet état, l'appareil pourrait servir de baromètre : ensuite on fait passer dans le tube une très-petite quantité d'eau au moyen d'une pipette; sa densité étant moindre que celle du mercure, elle s'élève jusqu'à l'espace vide, et, arrivée là, elle se dilate en vertu de l'excès de sa force expansive sur sa force de contraction, excès qui n'est plus alors contrebalancé par aucune pression; et comme on n'en a employé qu'une très-petite quantité, son volume augmente tellement pour remplir l'espace vide qu'il devient totalement invisible, et passe à cet état où nous le nommons vapeur. Cette vapeur n'occupe pas encore tout l'espace qu'elle tend à remplir; la partie vide du tube étant trop étroite, ne permet pas une dilatation suffisante pour que la force expansive qui, comme nous l'avons vu, page 65, diminue plus rapidement que la force de contraction quand le volume augmente, soit devenue égale à cette dernière. Elle agit donc pour s'étendre, et fait descendre le mercure d'une certaine quantité, par exemple, de N en N'; mais en même temps, elle rétablit une partie de la pression qu'elle supporte ordinairement, car l'air soutiendrait une colonne de mercure CN égale à celle qu'on observe au moment de l'expérience dans un baromètre parfait. La pression transmise de bas en haut en N' est donc capable de soutenir le poids de la colonne N'N; et quand la vapeur a fait descendre le mercure en N', elle supporte cette pression et lui fait équilibre par l'excès de sa force expansive sur sa force de contraction, c'est-à-dire, par la partie agissante de sa force expansive. D'après cela, il est manifeste que, pour mesurer la pression que supporte la vapeur, il faudra prendre la différence entre la colonne barométrique au moment de l'expérience, et la hauteur CN' à laquelle le mercure se tiendra dans le tube DA; ce tube portant des divisions dans sa partie supérieure, on pourra d'ailleurs lire immédiatement le volume de la vapeur. Supposons, par exemple, que la pression supportée par la

vapeur soit capable de soutenir une colonne de mercure de $0,^{m}\ 02$, et que son volume soit dans ce cas égal à 24 divisions du tube : pour augmenter la pression, il suffira évidemment d'enfoncer le tube dans l'éprouvette qui doit être pour cela très-allongée, alors la vapeur se comprimera ; et si on s'arrête lorsque son volume sera devenu 12 parties, c'est-à-dire moitié de ce qu'il était, on trouvera que la pression, qui s'évaluera toujours en prenant la différence entre les hauteurs des colonnes de mercure d'un baromètre parfait et du tube DA, sera devenu double ; si on comprime ensuite la vapeur par le même moyen jusqu'à amener son volume à n'être plus que le tiers de ce qu'il était d'abord, la pression deviendra triple, et ainsi de suite.

Au lieu de comprimer la vapeur en enfonçant le tube dans l'éprouvette, on peut lui donner au contraire plus d'espace pour s'étendre en le soulevant ; elle augmente alors en volume. En même temps sa force expansive et par suite la pression qu'elle supporte diminuent, et on trouve que, si on permet à la vapeur de prendre un volume 2, 3, 4... fois plus grand, la pression à laquelle elle se trouve soumise est alors $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$... de ce qu'elle était d'abord. Ces expériences qu'on peut multiplier autant qu'on veut, s'accordent toutes pour prouver que : *le volume d'une certaine quantité de vapeur est en raison inverse de la pression qu'elle supporte ;* de sorte que si V désigne le volume et P la pression d'une certaine quantité de vapeur, v le volume qu'elle occupe sous une autre pression p, il existe entre ces quantités une relation qu'on peut exprimer par la pression

$$V : v :: p : P. \quad (a).$$

On conçoit facilement que cette loi ne peut pas être vraie dans une étendue illimitée, car on en conclurait que le volume d'une quantité quelconque de vapeur deviendrait infini quand la pression serait nulle, et deviendrait aussi petit qu'on voudrait quand la pression serait indéfiniment

augmentée, deux résultats qui sont évidemment impossibles. Quant à l'accroissement de volume, il a certainement un terme; le volume ne peut jamais être assez grand pour que chaque atome se trouve complètement isolé, parce que la force expansive qui serait nulle alors aurait cessé bien plutôt d'être supérieure à la force de contraction : nous ne connaissons aucun moyen pour déterminer le plus grand volume auquel puisse parvenir une quantité donnée d'un fluide. Quant à la diminution de volume, elle cesse bientôt, lorsqu'on donne plus d'étendue aux expériences, de s'exécuter suivant la même loi. Si on enfonce de plus en plus dans l'éprouvette le tube AD de la *fig.* 32, il arrive un moment où la compression fait passer subitement la vapeur à l'état liquide, et occasionne par conséquent une diminution de volume bien plus considérable que celle qui serait indiquée par la proportion (*a*). Par exemple, si ces expériences se font dans un moment où la température de l'atmosphère et de l'appareil qui y est plongé soit 25°; quand on sera parvenu, en enfonçant le tube de plus en plus, à faire supporter à la vapeur une pression mesurée par une colonne de mercure de 23,^{mm}09, on ne pourra plus lui faire éprouver une augmentation de pression même insensible sans la condenser. Elle repassera alors à l'état liquide en plus ou en moins grande partie, suivant l'enfoncement du tube, de manière à permettre au mercure de s'élever toujours à la même hauteur, jusqu'à ce que toute la vapeur soit liquéfiée, et on verra paraître une petite couche d'eau sur la surface du mercure. Ce brusque changement de volume pour une augmentation aussi faible dans la pression provient de ce que, quand il est parvenu à ce point et qu'il continue à diminuer, la force expansive et la force de contraction croissent à peu près également; de sorte qu'une réduction considérable est nécessaire pour que la force expansive qui augmente même alors un peu plus rapidement que la force de contraction, acquière sur celle-ci un avantage capable de faire équilibre à l'augmentation de pression, quelque

petite qu'elle soit dans ce cas, et d'empêcher que le volume éprouve une diminution nouvelle.

Nous donnerons en général le nom de tension à la partie agissante de la force expansive, c'est-à-dire, à l'excès de cette force sur la force de contraction. La tension des vapeurs est toujours égale à la pression, puisqu'elle lui fait équilibre; elle varie avec elle, et devient *maximum* ou la plus grande possible pour la température actuelle, que nous avons supposée jusqu'à présent être celle de l'air ambiant, au moment où elle repasse à l'état liquide. On peut obtenir sa valeur dans ce cas, en mesurant comme précédemment la pression qu'elle supporte : nous aurons plus d'une fois occasion dans la suite d'en remarquer l'importance.

La même série d'expériences peut être faite à chaque température; et pourvu qu'on la maintienne constante, en versant dans le manchon de l'eau qu'on porte à cette température, on obtient des résultats tout à fait semblables, à cela près qu'on trouve la tension *maximum* et par conséquent la pression nécessaire pour opérer la liquéfaction, d'autant plus grandes que la température est plus élevée. Ceci vient de ce que la chaleur accroît la force expansive, et ne change pas la force de contraction qui dépend uniquement du volume.

Lorsqu'on a seulement pour but de déterminer les tensions *maximum* de la vapeur à chaque température, on peut se dispenser d'employer une longue éprouvette pour faire varier l'enfoncement du tube; mais la quantité d'eau introduite dans l'appareil doit être dans ce cas assez grande pour qu'elle ne se réduise pas complètement en vapeur. La tension *maximum* s'établit alors nécessairement; la tension du liquide qui reste étant en équilibre avec la tension de la vapeur augmentée de son poids, cette dernière est moindre que celle du liquide d'une quantité insensible, et on a vu que tel est le caractère de la tension *maximum*. La petite colonne d'eau qui couvre la surface du mercure doit être assimilée dans l'évaluation de la pression à une colonne à

peu près treize fois et demi moindre, les densités de ces liquides étant dans le rapport de 1 à 13 $\frac{1}{2}$ environ.

Les tensions *maximum* à des températures plus élevées que 100° ne peuvent plus être observées avec le même appareil, parce que, étant supérieures à la pression atmosphérique, elles feraient descendre le mercure du tube au-dessous du niveau de ce liquide dans l'éprouvette. On se sert alors d'un tube recourbé *abde*, *fig.* 33, dont la courte branche qui est fermée pénètre dans un ballon *mn* par la tubulure *n*; ce tube contient en *e* un peu d'eau; du mercure occupe le reste de la petite branche et une partie de la grande; en *m* se trouve une petite tubulure par laquelle on remplit le ballon presqu'entièrement d'une huile fixe très-limpide, et qui reçoit ensuite un thermomètre *t*. On chauffe le ballon avec une lampe, l'eau placée en *e* se vaporise en partie, le thermomètre *t* en indique la température, et on évalue sa pression qui est *maximum* tant qu'il reste du liquide, en prenant la différence du niveau du mercure dans les deux branches avec la lunette portée par une règle verticale dont il a été question à la page 57, et y ajoutant la pression atmosphérique indiquée par le baromètre. Si on conçoit un point *c* au même niveau que le point *d*, le liquide *ckd* sera en équilibre, et ne tendra aucunement à comprimer la vapeur : la pression qu'elle supporte sera donc due en effet à l'action de la colonne *cb* et à celle qui s'exerce en *b*, qui sont transmises par le liquide *ckd*. Pour des températures supérieures à 130° ou 140°, la branche *ka* devrait avoir une très-grande longueur, parce qu'il faut toujours qu'elle contienne une colonne de mercure qui, jointe à la pression atmosphérique, fasse équilibre à la force expansive de la vapeur, et il serait difficile de ne pas casser l'appareil. On emploie dans ce cas une chaudière très-forte dont le couvercle est percé de deux ouvertures; une est destinée à recevoir un thermomètre, l'autre à être fermée par une soupape. On met d'abord de l'eau dans le vase, on la fait bouillir pendant un temps suffisant pour que tout

l'air qui était au-dessus soit chassé; on met alors la soupape, et, au moment où elle est soulevée, on observe le thermomètre qui, plongeant dans la partie supérieure de l'appareil, indique la température de la vapeur qui s'y trouve; le poids de la soupape augmenté d'une petite quantité en fait connaître la tension. Cette force est alors si considérable qu'elle peut lancer au loin des masses énormes, ainsi que l'ont prouvé trop souvent les explosions des machines à vapeur, avant les perfectionnemens nombreux qu'on y a apportés.

Pour observer les tensions *maximum* de la vapeur à des températures inférieures à celles de la glace fondante, on se sert d'un baromètre dont la chambre est recourbée comme on le voit *fig.* 34. Au moyen d'une pipette, on y fait parvenir un peu d'eau qui se réduit en vapeur et abaisse la surface du mercure; ensuite on plonge la partie *cd* dans un mélange réfrigérant ayant la température à laquelle on veut observer la tension *maximum*. Le mercure remonte aussitôt d'une certaine quantité, parce que, le refroidissement diminuant, la force expansive de la vapeur qui se trouve en *d* se laisse condenser par la pression de la vapeur *ac* dont la tension est supérieure, et que celle-ci se dilatant alors, sa tension cesse d'être *maximum*. A mesure que cette condensation s'opère, il se forme en *a* de nouvelle vapeur qui, se dilatant, parvient en *d*, où elle est condensée à son tour : après un certain temps, le liquide est entièrement en *d*; là il se congèle et prend la température du mélange réfrigérant. Quelquefois cet effet se produit si rapidement, que le liquide placé en *a* se solidifie, refroidi par la vapeur qui s'en exhale, et dont la température est très-basse à cause du changement d'état (voyez, page 36). Dans ce cas le transport en *d* s'effectue très-lentement; il a lieu cependant; et ceci nous fait connaître ce fait curieux que la glace même se réduit en vapeur dans le vide : nous pensons que cela vient de ce que la force expansive des parties qui sont à la surface de ce corps, est supérieure à la force de contraction à laquelle elles sont soumises, de

sorte qu'une diminution suffisante dans la pression lui donne lieu d'agir. Quand toute l'eau est parvenue en *d*, la chambre barométrique est encore remplie de vapeur, et sa tension, qui est la preuve de son existence, peut être évaluée comme on l'a vu précédemment. Cette tension est la tension *maximum* pour la température du mélange réfrigérant, qui est aussi celle de la glace en *d*; car si cette glace pouvait former une vapeur ayant une tension plus forte, cet effet aurait lieu. La vapeur *ac* ne peut d'ailleurs avoir une tension plus grande que la vapeur *de*, car elle condenserait celle-ci et se dilaterait, ce qui diminuerait sa propre tension. D'après cela, il suffit de prendre un mélange réfrigérant susceptible de produire une température très-basse, et d'y plonger la partie *cd* de l'appareil; pendant qu'il se rechauffera par l'action des corps voisins, et qu'il passera par toutes les températures jusqu'à celle de la glace fondante, on fera toutes les observations relatives à ces dégrés de chaleur.

Le tableau suivant renferme les résultats obtenus par ces diverses méthodes pour les températures comprises entre 20° au-dessous et 182° au-dessus du zéro du thermomètre centigrade. Une colonne placée à côté de celle où sont indiquées les tensions, contient l'expression des efforts correspondans que fait la vapeur sur un centimètre carré.

Tableau des tensions de la vapeur d'eau depuis —20° jusqu'à 182° centigrades.

Dégrés du thermom. centigrade.	Tension de la vapeur en millim.	Pression sur un cent. carré en kilog.	Dégrés du thermom. centigrade.	Tension de la vapeur en millim.	Pression sur un cent. carré en kilog.
dég.	mm.	kil.	dég.	mm.	kil.
—20	1,333	0,0018	37	45,038	0,0612
—15	1,879	0,0026	38	47,579	0,0646
—10	2,631	0,0036	39	50,147	0,0681
— 5	3,660	0,0050	40	52,998	0,0720
0	5,059	0,0069	41	55,772	0,0758
1	5,393	0,0074	42	58,792	0,0799
2	5,748	0,0078	43	61,958	0,08418
3	6,123	0,0084	44	65,627	0,08916
4	6,523	0,0089	45	68,751	0.09340
5	6,947	0,0094	46	72,393	0,09835
6	7,396	0,0101	47	76,205	0,10353
7	7,871	0,0107	48	80,195	0,10900
8	8,375	0,0114	49	84,370	0,11662
9	8,909	0,0122	50	88,743	0,12056
10	9,475	0,0129	51	93,801	0,12676
11	10,074	0,0137	52	98,075	0,14325
12	10,707	0,0146	53	103,060	0,13999
13	11,378	0,0155	54	108,070	0,14710
14	12,087	0,0165	55	113,710	0,15449
15	12,837	0,0170	56	119,390	0,16220
16	13,630	0,0186	57	125,310	0,17035
17	14,468	0,0197	58	131,500	0,17866
18	15,353	0,0209	59	137,940	0,18736
19	16,288	0,0222	60	144,660	0,19653
20	17,314	0,0235	61	151,700	0,20610
21	18,317	0,0250	62	158,960	0,21586
22	19,447	0,0265	63	165,560	0,22639
23	20,577	0,0281	64	174,470	0,23758
24	21,805	0,0297	65	182,710	0,24823
25	23,090	0,0314	66	191,270	0,25986
26	24,452	0,0334	67	200,180	0,27196
27	25,881	0,0353	68	209,440	0,28451
28	27,390	0,0374	69	219,060	0,29761
29	29,045	0,0396	70	229,070	0,31121
30	30,643	0,0418	71	239,450	0,32532
31	32,410	0,0440	72	250,230	0,33996
32	34,261	0,0465	73	261,430	0,35518
33	36,188	0,0492	74	273,030	0,37094
34	38,254	0,0520	75	285,070	0,39632
35	40,404	0,0549	76	297,570	0,40428
36	42,743	0,0581	77	310,490	0,42184

DÉGRÉS du thermom. centigrade.	TENSIONS de la vapeur en millim.	PRESSION sur un cent. carré en kilog.	DÉGRÉS du thermom. centigrade.	TENSION de la vapeur en millim.	PRESSION sur un cent. carré en kilog.
dég.	mm.	kil.	dég.	mm.	kil.
78	323,890	0,44004	135	2280,00	3,09760
79	337,760	0,45888	137,70	2470,00	3,35581
80	352,080	0,47834	140,35	2660,00	3,61387
81	367,000	0,49860	142,70	2850,00	3,87200
82	382,380	0,51950	144,95	3040,00	4,13013
83	398,280	0,54110	146,76	3230,00	4,38827
84	414,730	0,56345	149,15	3420,00	4,64640
85	431,710	0,58652	151,15	3610,00	4,90453
86	449,260	0,61036	153,30	3800,00	5,16267
87	467,380	0,63498	155	3990,00	5,42080
88	486,090	0,66040	156,70	4180,00	5,67893
89	505,380	0,68661	158,30	4370,00	5,93707
90	525,28	0,71364	160	4560,00	6,19520
91	547,80	0,74152	161,54	4750,00	6,45334
92	566,95	0,77026	163,25	4940,00	6,71146
93	588,74	0,79986	164,84	5130,00	6,96960
94	611,18	0,83035	166,42	5320,00	7,22773
95	934,27	0,86172	167,94	5510,00	7,48587
96	658,05	0,89402	169,41	5700,00	7,74405
97	682,59	0,92736	170,78	5890,00	8,00213
98	707,63	0,96188	172,13	6080,00	8,26026
99	733,46	0,99448	173,46	6270,00	8,51840
100	760,00	1,03253	174,79	6460,00	8,77653
106,60	950,00	1,29067	176,11	6650,00	9,03467
112,40	1140,00	1,54880	177,40	6840,00	9,29280
117,10	1330,00	1,80697	178,68	7030,00	9,55093
121,55	1520,00	2,06507	179,89	7220,00	9,80906
125,50	1710,00	2,32320	180,95	7410,00	10,06720
128,85	1900,00	2,58134	182	7600,00	10,32532
132,15	2090,00	2,83947			

La vapeur parvenue à l'état liquide est encore susceptible de diminuer de volume par l'augmentation de pression, mais beaucoup moins rapidement qu'avant son changement d'état. Les expériences de M. OErsted, que nous rapporterons en traitant de la fontaine de compression, prouvent qu'elle se contracte à peu près des quarante-cinq millionièmes de son volume, chaque fois qu'on lui fait supporter une augmentation de pression égale à la pression de l'atmosphère. Il y

a sans doute un terme passé lequel l'eau ne se condenserait plus, mais on n'a pu l'atteindre : après une augmentation de pression de 70 atmosphères, la diminution de volume est encore aussi rapide.

Quand la pression que supporte un liquide diminue subitement de manière à se trouver tout-à-coup inférieure à la tension *maximum* de la vapeur à cette température, on observe alors des mouvemens brusques dans le liquide, une ébullition se manifeste. C'est ce qui arrive, par exemple, lorsqu'ayant placé un verre d'eau tiède sous le récipient de la machine pneumatique, on vient à y faire le vide; chaque coup de piston, enlevant une partie du peu d'air qui reste dans le récipient et de la vapeur qui s'y est répandue, fait naître de gros bouillons dans le liquide dont la force expansive devient par là prédominante. Lorque le liquide s'étant un peu refroidi et le récipient un peu échauffé, celui-ci se trouve plein de vapeur à la tension *maximum*, l'ébullition cesse, mais un nouveau coup de piston la reproduit.

La *fig.* 35 représente un appareil avec lequel on peut faire une expérience très-intéressante qui repose sur le même principe. AB est un ballon muni d'un robinet, CD est un pied sur lequel on peut le visser. On met de l'eau dans le ballon, et on l'y fait bouillir en tenant le robinet ouvert jusqu'à ce que la vapeur qui se dégage en ait chassé tout l'air; on ferme alors le robinet, on renverse le ballon et on le visse sur son pied. Le liquide contenu dans ce ballon peut être entretenu en ébullition pendant plusieurs heures par un courant d'eau froide qu'on fait tomber sur sa partie supérieure, et offrir ainsi un spectacle qui surprend beaucoup de personnes.

Ces phénomènes nous font voir que l'ébullition n'est pas toujours un signe d'une grande chaleur; elle peut, au contraire, avoir lieu à toutes les températures : il suffit de diminuer assez la pression pour que, jointe à la force de contraction, elle forme une somme moindre que la force expansive. Dans le cas où un vase communique par son

ouverture avec l'air extérieur, le liquide qu'il contient supporte toujours la pression de l'atmosphère qui se transmet dans toutes les directions, et c'est cette pression qui détermine le dégré de chaleur nécessaire à l'ébullition. Ce dégré peut s'obtenir au moyen du tableau de la page 90; on cherche pour cela dans la colonne des tensions *maximum* celle qui égale la pression actuelle de l'atmosphère; et le dégré de chaleur correspondant est celui qui donne à l'eau une force expansive supérieure d'une quantité insensible à la pression de l'atmosphère et capable par conséquent de la surmonter; car la force expansive de l'eau à une température déterminée, est toujours supérieure d'une quantité insensible à la tension *maximum* de la vapeur à cette même température.

Sur le sommet des hautes montagnes, la pression étant beaucoup plus faible que dans les plaines, un dégré de chaleur moindre suffit pour rendre la force expansive de l'eau supérieure à cette pression et produire l'ébullition. A Quito, ville du Pérou, l'eau bout à 90°, 1 du thermomètre centigrade, et elle ne peut atteindre en cet endroit une plus haute température dans un vase ordinaire, parce que la plus légère augmentation de chaleur en réduit en vapeur une partie qui, se refroidissant par le changement d'état, diminue la chaleur de l'eau restée dans le vase. Dans les lieux bas, la pression atmosphérique est ordinairement mesurée par une colonne de mercure de 0^m, 76, et le dégré de chaleur auquel l'eau bout dans ce cas a été choisi pour l'un des points fixes servant à construire les thermomètres. Nous reviendrons sur ce sujet quand nous décrirons ces instrumens que nous avons supposés jusqu'à présent connus par le lecteur, au moins superficiellement.

Lorsque, pendant que la chaleur est élevée à un haut dégré, on enlève la soupape de l'appareil que nous avons indiqué pour constater les tensions au-dessus de la température de l'eau bouillante, la tension de l'eau qui s'y trouve étant bien supérieure à la pression atmosphérique, ce liquide

se réduit brusquement en vapeur, et forme un jet qui sort avec violence par l'ouverture, et va en s'élargissant de manière à offrir la forme d'un cône renversé, forme qui est due à la force expansive et à la grande vîtesse avec laquelle la vapeur se dégage. Une chose assez digne de remarque, c'est que cette vapeur ne brûle pas la main, même à la distance de quelques pouces de l'orifice, et que l'eau, quand il en reste dans la chaudière après l'expérience, a, au moment où elle cesse de se réduire en vapeur, une température bien inférieure à celle de l'eau bouillante. Ces deux effets sont dus à ce que la vîtesse avec laquelle la vapeur débouche dans l'air est d'abord très-grande, mais diminue rapidement, parce que la vapeur qui se forme occasionne le prompt refroidissement du liquide; il en résulte évidemment que le cône occupé par la vapeur est un espace en partie vide, ce qui permet à la vapeur de s'étendre et de se refroidir plus qu'elle ne le ferait sans cela, et à l'eau de se réduire en vapeur, comme lorsqu'elle est sous le récipient de la machine pneumatique, même après que sa température est descendue au-dessous du point ordinaire d'ébullition.

Chaque fluide peut être étudié de la même manière que l'eau; on obtient alors des résultats qui suivent les mêmes lois, et ne présentent de différence que dans les tensions *maximum* des vapeurs à chaque température, et dans les quantités dont ces substances se laissent comprimer pendant leur liquidité. On a formé pour un certain nombre, des tableaux de leurs tensions *maximum* analogues à celui que nous avons donné pour l'eau; mais une loi observée par Dalton nous dispense de les faire connaître. Ce physicien, en comparant ces tableaux, a remarqué que si l'on prend pour terme commun la tension qui fait équilibre à une pression donnée, celle de l'atmosphère, par exemple, une élévation ou un abaissement de température d'un certain nombre de dégrés augmentera ou diminuera également la tension de tous les liquides. Cela posé, si nous savons que deux fluides tels que l'eau et l'éther ont la même tension qui est supérieure

d'une quantité insensible à celle de l'atmosphère ou 0^m, 76, lorsqu'on prend la première de ces substances à 100° et la seconde à 38°, 8 du thermomètre centigrade ; pour trouver la tension de l'éther à une autre température 30°, 8, c'est-à-dire, après un abaissement de température de 8°, on cherchera la tension de l'eau après qu'elle a subi la même diminution de chaleur ; elle sera la même et égale à 0^m, 567. Il suffit maintenant d'avoir pour les divers liquides des températures auxquelles ils aient tous une même tension, de connaître, par exemple, le point d'ébullition de chacun d'eux. Le tableau suivant remplira cet objet, et contiendra en même temps le point de fusion dans une seconde colonne.

Table des points d'ébullition et de fusion de divers corps sous une pression atmosphérique de $0^m,76$, *les températures étant évaluées en dégrés du thermomètre centigrade.*

NOMS DES SUBSTANCES.	POINTS d'ébullition.	POINTS de fusion.
Argent	»	538°
Antimoine	»	432°
Zinc	»	360°
Plomb	»	260°
Bismuth	»	256°
Étain	»	210°
Alliage, 8 étain, 1 bismuth	»	200°
— 2 étain, 1 bismuth	»	167°,7
— 3 étain, 2 plomb	»	167°,7
— 1 étain, 1 bismuth	»	141°,2
— 1 plomb, 4 étain, 5 bismuth	»	118°,9
— 2 plomb, 3 étain, 5 bismuth	»	100°
Soufre	299°	109°
Iode	175°	107°
Sodium	»	90°
Potassium	»	58°
Phosphore	290°	43°
Cire blanchie	»	68°
— non blanchie	»	61°
— suif	»	33°,33
Glace	100°	0°
Mercure	350°	—39°
Huile de térébenthine	273°	—10°
Éther sulfurique	37°,8	»
Soufre carboné	47°,0	»
Alcohol	79°,7	»
Dissolution saturée de sulfate de soude	100°,7	»
— — de muriate de soude	106°,9	»
— — d'acétate de plomb	102°	»
Acide sulfurique	310°	»
Huile de lin	316°	»

Un assez grand nombre de substances n'ont pu être amenées à l'ébullition; mais nous ne devons pas en conclure qu'elle ne peuvent être réduites en vapeur : nous devons plutôt penser que la chaleur de nos fourneaux est insuffisante pour produire un tel effet. Cette idée est d'autant plus probable, qu'on est parvenu à démontrer la volatilité de plusieurs substances qui avaient été regardées pendant long-temps comme fixes : par exemple, on s'est assuré que le sel marin, maintenu dans un creuset à une température élevée, perdait de son poids, même après que toute l'eau qu'il contient ordinairement s'en était dégagée. Quelques métaux sont dans le même cas.

Variations de volume des fluides par la chaleur Pour étudier les changemens de volume qu'éprouvent les fluides par la chaleur, il faut faire varier la température de l'eau du manchon dans la fig. 32, et en même temps soulever l'appareil, afin d'accroître l'espace qui est au-dessus du mercure, et de permettre à la vapeur de se dilater sans que la pression augmente. La partie supérieure du tube étant divisée, on peut évaluer immédiatement la dilatation; elle est exactement la même que celle que les gaz éprouvent dans les mêmes circonstances. Si au lieu d'élever la température on l'abaissait sans changer d'ailleurs la pression, la vapeur se contracterait de plus en plus, sa force expansive diminuant, et il arriverait un point où la pression l'emporterait d'une quantité insensible sur la partie agissante de la force expansive ou la tension, et alors la liquéfaction s'opèrerait. Ainsi, le changement d'état d'une vapeur peut être déterminé par la pression ou par une diminution de chaleur; nous verrons plus tard que l'art de la distillation est fondé sur ce dernier principe.

Variations de volume des gaz par la pression. L'analogie entre les gaz et les vapeurs se soutient encore dans les variations de volume que les pressions font éprouver à ces substances;

on peut s'en convaincre en remplaçant dans l'expérience de la page 33 la vapeur d'eau par de l'air ou tout autre gaz; elle indiquera des variations de volume qui suivront la même loi, de telle sorte que les volumes seront encore en raison inverse des pressions. Ce résultat peut être aussi constaté pour des pressions supérieures à celles de l'atmosphère; on se sert alors du tube ABC, *fig.* 43, qui se compose de deux branches, dont l'une est beaucoup plus longue que l'autre; la petite branche doit être fermée et la grande ouverte. On introduit d'abord un peu de mercure dans l'appareil pour limiter le volume de l'air que contient la petite branche; on note ce volume et la pression qu'il supporte : cette pression égale celle de l'atmosphére transmise par le mercure, plus celle qui résulte du poids de l'excès de la colonne de mercure de la grande branche sur la colonne de la petite branche; celle-ci est moindre, parce que le mercure qui la compose ne peut s'élever qu'en comprimant l'air qui lui oppose alors sa tension pour obstacle. Ensuite on verse du mercure dans la grande branche, et on s'arrête lorsque le volume de l'air se trouve réduit dans une certaine proportion, à moitié, par exemple; on observe, comme dans le premier cas, la pression qu'il supporte, et on la trouve doublée. On pourrait s'assurer de même que pour réduire le volume au tiers de ce qu'il était d'abord, il faut employer une pression triple de la première. Des épreuves intermédiaires confirmeraient également cette loi, à laquelle les physiciens ont donné le nom de loi de Mariotte, pour perpétuer le nom de son auteur. Sir H. Davy et M. Faraday ont cherché, en comprimant les gaz par des pressions considérables, si on ne parviendrait pas à les liquéfier comme les vapeurs. S'ils n'ont pas réussi dans toutes leurs tentatives, le nombre des gaz dont ils ont changé l'état, et qui avaient été regardés jusqu'alors comme permanens, suffit cependant pour nous faire voir que ces substances ne sont autre chose que des vapeurs, et que la seule différence qu'ils présentent est la grande intensité de leurs forces expansives. En les soumettant à une température de plus en plus basse, en même

temps qu'on établirait sur eux une pression très-considérable, on parviendrait sans doute à en liquéfier un plus grand nombre. On conçoit même qu'un refoidissement extrêmement grand devrait finir par les solidifier, mais on n'a pas pu jusqu'à présent en produire de tel.

Tableau de la liquéfaction des gaz.

NOMS DES GAZ LIQUÉFIÉS.	TEMPERATURES en dégrés centigrades.	TENSIONS des liquides exprimées en atmosphères.
Acide sulfureux.	+ 7	2
Cyanogène.	+ 7	3,6
Chlore.	+15,5	4
Ammoniaque.	0	5
Idem.	+10	6,5
Hydrogène sulfuré.	—16	14
Idem.	+ 8	17
Acide muriatique.	—16	20
Idem.	— 4	25
Idem.	+ 8	40
Acide carbonique.	—11	20
Idem.	0	36
Oxide nitreux.	0	44
Idem.	— 7	51

Pour obtenir les pressions employées dans ces expériences, on enferme dans un tube très-fort les substances qui, par leur réaction chimique, donnent le gaz qu'on veut soumettre à l'épreuve. La quantité de ce fluide augmentant de plus en plus sans que l'espace s'accroisse, il se comprime lui-même, et de cette manière on peut produire des pressions de plus de 40 à 50 atmosphères, c'est-à-dire, égales à 40 ou 50 fois celle de l'atmosphère. En même temps on refroidit une des extrémités du tube, ce qui diminue encore la force expansive du gaz.

Mélanges de gaz et de vapeurs. Nous avons fait connaître précédemment les causes du passage des liquides à l'état de vapeur, lorsqu'il a lieu brusquement et est déterminé par une diminution dans la pression ou par une augmentation de chaleur. Dans les circonstances ordinaires, les liquides, et l'eau qui est le plus commun, se trouvent exposés au contact de l'air et en supportent toute la pression ; cette force s'oppose au changement d'état. Mais l'air n'est pas une masse continue, il est au contraire parsemé de vides dont la somme est plus de 16000 fois aussi grande que la somme des parties pleines ou des atomes, puisque ce gaz est plus de 16000 fois moins dense que le platine qui est encore poreux ; et d'après cela on conçoit que le liquide n'est point pressé sur toute sa surface, et qu'il est au contraire libre jusqu'à un certain point aux endroits où le gaz lui présente des pores ; là sa tension peut agir, il se réduit en vapeur, s'introduit dans les pores du gaz et en parcourt toutes les sinuosités. Lorsque le liquide est en communication avec l'atmosphère, ce phénomène, auquel on a donné le nom d'évaporation, n'a pas de limite, et le liquide finit par disparaître complètement. Les circonstances favorables à l'évaporation sont la chaleur, le vent et l'étendue de la surface. La chaleur augmente la force expansive et hâte l'écoulement de la vapeur par les petits conduits sinueux que forment les pores de l'air. Le vent renouvelle la couche d'air en contact avec le liquide, et celui-ci se trouvant couvert à chaque instant par de l'air dont les pores sont plus libres, se réduit plus promptement en vapeur : c'est pour cela que le linge qu'on a lavé sèche mieux pendant l'été que pendant l'hiver, et par un grand vent que dans un air calme. L'étendue de la surface influe aussi sur la rapidité de l'évaporation, parce que plus elle est grande et plus l'air qui la touche lui présente de pores, dont chacun donne lieu à un petit courant de vapeur : ainsi un linge mouillé qu'on roulerait en boule, sècherait beaucoup moins vite que si on l'étendait avec soin.

Si le liquide n'est en contact qu'avec une petite masse d'air, alors l'évaporation a un terme. Une carafe qu'on remplit d'eau

en partie et qu'on bouche exactement, ne se dessèche jamais. Lorsque les pores de l'air qui se trouve dans sa partie supérieure sont remplis de vapeur ayant la tension maximum propre à la température actuelle, l'évaporation cesse, et elle ne recommence que dans le cas où la température s'élève; quand la température s'abaisse, la force élastique de la vapeur qui remplit les pores de l'air diminuant, une partie repasse à l'état liquide, pressée par le reste qui se dilate pour remplir tout l'espace vide. La partie liquéfiée se dépose en petites gouttelettes sur les parois du vase les plus exposées au refroidissement; ce phénomène s'observe fréquemment; les nuits étant toujours plus froides que les jours, présentent avec ceux-ci les alternatives de température nécessaires à sa production. Le dépôt d'humidité qui a lieu pendant l'hiver sur les vitres d'un appartement où on a fait du feu, est un fait du même genre : la chambre remplace la carafe; les liquides qui s'y trouvent, ou, à leur défaut, l'humidité du corps des personnes qui l'habitent, fournit à l'air, pendant le jour, une quantité de vapeur qu'il ne peut contenir pendant la nuit, lorsque la température s'abaisse, et cette vapeur se dépose sous forme liquide sur les vitres, parce que c'est là que le refroidissement a lieu d'abord.

Pour déterminer d'une manière exacte la quantité de vapeur que l'air est susceptible de recevoir dans ses pores à une température déterminée, Saussure employait un ballon dont il connaissait la capacité; il y faisait arriver de l'air aussi bien desséché qu'il est possible, puis il y introduisait un linge humide dont il avait mesuré le poids : ce linge fournissait de la vapeur à l'air, et après un certain temps, un hygromètre qui était placé dans le ballon indiquait que les pores de ce fluide en étaient remplis. La perte de poids éprouvée par le linge faisait connaître le poids de cette vapeur. Saussure a trouvé qu'il était indépendant de la densité de l'air et même de sa présence, de sorte qu'il n'était pas différent, soit que l'expérience fût faite dans de l'air plus ou moins raréfié, ou bien dans le vide. Ce résultat ne doit

pas paraître surprenant, si on considère combien l'air et les gaz en général renferment peu de matière en proportion de leur volume. Un baromètre dont la partie ouverte se trouvait aussi dans le ballon, permettait d'observer en même temps un second fait non moins important : l'introduction de la vapeur dans les pores de l'air en augmente la tension d'une quantité précisément égale à celle de la vapeur. Ainsi, dans l'une des expériences de Saussure, la tension de l'air sec étant mesurée par une colonne de mercure de 27 pouces à 15°, celle de l'air saturé de vapeur à la même température s'est trouvée de 27 pouces 6 lignes, c'es-à-dire égale à celle de l'air plus à la tension *maximum* de la vapeur dans le vide qui est à cette température $0^m,013$ ou 6 lignes à peu près. (Voyez le tableau de la page 90).

D'après cela, la seule différence entre la formation de la vapeur dans le vide et dans l'air consiste dans la durée qui est beaucoup moindre dans le premier cas que dans le second. Une expérience due à Fontana peut servir à constater facilement ces résultats. Deux vases en verre AB, CP, *fig.* 44, contiennent en A et C un liquide; l'un est vide d'air, l'autre en est rempli : on plonge les parties A et C dans de l'eau chaude, ou les parties B et P dans un mélange frérigérant; le liquide est alors transporté de A en B et de C en P, comme cela arrive dans l'expérience faite avec l'appareil de la *fig.* 34, et rapportée pag. 88; mais cet effet est bien plus lent dans le vase qui contient de l'air, parce que la présence de ce fluide ralentit la formation de la vapeur et sa condensation.

Maximum de densité de l'eau. L'eau offre dans ses variations de volume par la chaleur une exception importante à connaître; en se refroidissant, elle se condense de plus en plus, mais seulement jusqu'à une certaine température qui est à peu près de 4°; ensuite, au lieu de continuer à diminuer, elle augmente en volume, de même que si on l'échauffait;

et au moment où elle se congèle, la dilatation est assez rapide et s'effectue avec une force si grande, qu'elle peut briser un canon de fusil dans lequel on l'aurait renfermée : on voit souvent des vases ordinaires brisés par l'action de cette force.

Pour déterminer d'une manière précise le dégré de chaleur auquel l'eau atteint son *maximum* de densité, et à partir duquel une augmentation ou une diminution de chaleur produisent un accroissement de volume, on plonge dans un même liquide un thermomètre et un tube gradué rempli en partie d'eau ; on refroidit lentement le bain jusqu'à la température de la glace fondante, et pendant ce refroidissement on examine à chaque instant le tube qui contient l'eau ; on y voit ce liquide baisser avec la température jusqu'à un certain point, et ensuite remonter : au moment où il est le plus bas, on observe le thermomètre qui indique alors le dégré où le volume de l'eau est le plus petit et sa densité la plus grande.

Elasticité. Lorsque dans les expériences de MM. Mariotte et Œrsted rapportées précédemment, on vient à supprimer la pression qu'on avait établie sur le gaz ou le liquide, le volume qui avait été réduit s'accroît alors, et il est facile de s'assurer qu'il redevient exactement ce qu'il était avant l'expérience ; de sorte que les effets de la pression cessent avec elle et ne laissent aucune trace. C'est à cette propriété qu'ont les corps de faire, quand ils sont comprimés, un effort constant pour augmenter en volume, effort qui produit nécessairement son effet aussitôt que la pression cesse, qu'on a donné le nom d'élasticité : la force élastique n'est donc pas différente de la tension, elle est l'excès de la force expansive sur la force de contraction ; la pression la détermine et lui est toujours égale.

Il suit de ce que nous venons de dire, que les fluides jouissent d'une élasticité parfaite ; mais il n'en est pas ainsi des solides, quand, par un moyen quelconque, on les a comprimés, la

suppression de la cause n'amène pas la disparition complète de l'effet ; la condensation subsiste au contraire, au moins en partie. L'augmentation de densité que les métaux sont susceptibles d'acquérir par l'écrouissement, et quand on les passe à la filière ou au laminoir, suffit pour prouver ce fait (1).

Toutefois, cette condensation a une limite qu'on atteint promptement. Si, pendant un écrouissement de longue durée, on prend de temps en temps la densité du métal employé, on trouve qu'elle augmente au commencement de l'opération, mais que, parvenue à un certain point, elle n'est plus susceptible de changer. Les solides sont alors parfaitement élastiques, et le choc ne leur fait plus éprouver qu'une compression passagère, les atomes étant aussi rapprochés qu'il est possible à la température et sous la pression actuelles.

Quand, au lieu de comprimer les corps, on éloigne au contraire leurs atomes par une traction, ils font effort comme pendant la compression pour revenir à leurs dimensions premières, et y reviennent en effet aussitôt que la traction cesse. Cette augmentation forcée du volume diminue la force expansive plus que la force de contraction, et alors celle-ci jointe à la pression l'emporte, et produit l'effort que nous venons d'indiquer. On observe facilement un effet de ce genre, en faisant porter à un fil métallique vertical et attaché par son extrémité supérieure, un poids qu'on supprime ensuite ; le fil s'allonge un peu quand on le charge, et cet allongement cesse avec la traction, pourvu qu'elle n'ait pas été assez forte pour faire varier, outre la distance des atomes, leurs positions relatives.

Elasticité de forme. Tous les corps sont susceptibles de changer de forme, lorsqu'ils éprouvent un choc ou sont

(1) Cette augmentation peut être constatée en cherchant la densité d'un morceau de métal avant et après l'opération.

soumis à des efforts tendant à produire cet effet. Une lame d'acier AB, *fig.* 45, peut être courbée et prendre la forme d'un arc *ambn*. La surface AMB se trouve alors forcée de s'allonger un peu, et la surface ANB de se raccourcir ; ces deux surfaces tendent à revenir à leurs longueurs premières, ce qui ne peut avoir lieu sans que le corps reprenne sa première forme, et de là vient l'effort qu'il fait pour se redresser. C'est à cet effort qu'on a donné le nom d'élasticité de forme ou simplement d'élasticité. Une lame déjà courbe tend par les mêmes causes à revenir à sa forme première, quand on la courbe davantage ou qu'on cherche à la redresser ; et il en est de même d'un corps quelconque que l'on choque ou que l'on force à changer un peu de forme ; il arrive nécessairement que certaines parties de ce corps subissent une traction ou une compression, et c'est toujours à l'élasticité de traction ou de compression qu'est due l'élasticité de forme ou le ressort des corps.

Dans le cas où le corps serait soumis à un choc ou à un effort trop considérable, les atomes, au lieu de s'éloigner seulement un peu les uns des autres, seraient contraints à changer de positions relatives, et, l'effet cessant, le corps ne pourrait plus reprendre sa forme première : c'est ce qui arrive, par exemple, quand on courbe une barre de fer d'une trop grande quantité ; elle ne se redresse plus alors complètement quand l'effort cesse. La rupture peut aussi être la suite d'un trop grand éloignement des atomes ; une barre de verre qui se redresse quand on ne la courbe que d'une petite quantité, se brise quand l'effort est plus grand.

Force d'inertie. L'élasticité de compression ou de traction modifie d'une manière remarquable les effets du choc des corps, et force à restreindre le principe que nous avons posé relativement à l'inertie de la matière, à l'occasion de la mobilité. Nous avons dit alors qu'un corps en repos ne peut nullement s'opposer à ce qu'une cause extérieure lui communique du mouvement. Ceci serait probablement ap-

plicable même au cas où la cause extérieure consisterait en un choc, si les corps étaient des masses continues ; mais comme il n'en est pas ainsi, les phénomènes sont autres : tout corps choqué fait perdre au corps choquant une partie de sa vîtesse, et lui oppose, pour ainsi dire, une résistance ; cette résistance est connue en mécanique et en physique sous le nom de force d'inertie.

Pour en concevoir la cause, il faut remarquer que quand un corps A, *fig.* 46, en rencontre un autre B, il n'agit immédiatement que sur les atomes qui sont vers la surface. Une petite tranche *cdef* se trouve comprimée, fait effort pour se dilater, pousse avec la même force les deux corps A et B en sens contraires, et enlève par conséquent à ce dernier une quantité de mouvement égale à celle qu'elle communique au corps A. La tranche *cdef* communique d'ailleurs le mouvement à tout le corps A de proche en proche ; elle comprime la seconde tranche par son effet, et elle en éprouve par suite une réaction qu'elle transmet au corps B ; celle-ci comprime la suivante qui oppose aussi une résistance, et les atomes qui composent toutes les tranches dans lesquelles on peut concevoir le corps A partagé, seront ainsi tous mis en mouvement.

Si la forme du corps A était analogue à celle que représente la *fig.* 47, l'explication de la résistance qu'il opposerait à un corps B venant le choquer en *mn* serait la même, à cela près que ses parties ne seraient plus toutes comprimées comme dans le cas précédent, et qu'il faudrait attribuer l'effet produit par certaines parties à l'élasticité de traction.

Moyens de mesurer la chaleur.

Les atomes étant invisibles, même à l'aide des instrumens les plus parfaits, nous n'avons aucun moyen pour observer leurs mouvemens d'une manière directe, et ce n'est que par

leurs effets que nous pouvons espérer de juger leurs vîtesses ou les dégrés de chaleur. Celui qu'on observe le plus souvent dans ce but est la dilatation ; on emploie pour cela divers instrumens dont nous allons d'abord donner une description (1).

Thermomètres. On distingue trois sortes de thermomètres : les premiers sont construits avec des corps solides, et sont destinés à mesurer les hautes températures ; les seconds avec des liquides, et servent aux mesures des températures basses et moyennes ; les troisièmes avec de l'air, et ne s'emploient que lorsqu'il s'agit de reconnaitre que la température subit de légères variations.

Thermomètres solides. Les thermomètres solides prennent le nom de *pyromètres*. La plupart ne sont que des verges métalliques disposées de manière à apprécier la dilatation que la chaleur leur fait éprouver : cependant le plus généralement employé, et le seul que nous décrirons, a pour base la propriété qu'a l'argile de prendre du retrait quand on l'expose à une haute température. Ce pyromètre, connu sous le nom de son inventeur, *Wegdwood*, est composé de deux pièces : la première est un petit cylindre d'argile de 12,7 millimètres de diamètre, de 14 à 15 millimètres de longueur, un peu aplati d'un côté, et cuit à une chaleur rouge ; la seconde est une *jauge* destinée à mesurer la diminution de volume de l'argile chauffée ; elle est formée d'une plaque en cuivre ou en laiton, sur laquelle sont soudées deux règles du même métal, parfaitement égales, et longues de 609,592 millimètres, formant un canal convergent, dont l'ouverture est de 12,7 millimètres à une

(1) Cette description est tirée du traité de chimie de M. Thenard. Comme il est impossible de s'exprimer avec plus de clarté et de justesse, nous ne pouvions mieux faire que de reproduire ses propres paroles sur un sujet indépendant de notre nouvelle théorie.

extrémité, et de 7,62 millimètres à l'autre; l'une des règles est divisée en 240 parties égales qu'on appelle *dégré*; le *zéro* de l'échelle est placé à l'extrémité la plus large. On divise ordinairement l'instrument en deux, afin de le rendre portatif, et l'on a ainsi sur la même plaque deux canaux convergens, dont l'un est la suite de l'autre. (*Voy.* pl. 3, *fig.* 36).

C C' C'' C''', plaque de laiton.

D D', rainure formée par les deux règles *E E'*, *F F'*.

G G', autre rainure faisant suite à la première, et formée par les deux règles *F F'*, *H H'*.

I, petit cylindre d'argile entrant dans la rainure *D D'*.

L, fig. 37, petit creuset ou étui terreux, très-réfractaire, pour calciner le cylindre d'argile.

Pour que cet instrument puisse être comparable, il faut que les petits cylindres soient constamment formés avec la même argile, et que cette argile soit absolument infusible.

Par exemple, s'agit-il de connaître la température à laquelle le cuivre fond, mettez un de ces petits cylindres dans le creuset avec le cuivre, et aussitôt que ce métal sera fondu, retirez le cylindre; laissez-le refroidir; regardez jusqu'à quel dégré il peut avancer alors dans la jauge, et vous verrez qu'il ira jusqu'à 27°. Quand la substance est de nature à se vitrifier ou à s'attacher au cylindre, il faut préalablement le mettre dans un étui de terre à creuset (1)

---

(1) Wegdwood s'était d'abord servi, pour former ces cylindres, d'argile blanche de Cornouailles, qui est composée, suivant lui, de deux parties de silice et trois d'alumine. (Cette analyse n'est pas exacte, car toutes les argiles contiennent beaucoup plus de silice que d'alumine). Mais, depuis, il a reconnu la nécessité d'y ajouter la moitié de son poids d'alumine pure précipitée de l'alun par la potasse du commerce et lavée avec de l'eau bouillante. On se procurera donc de l'argile blanche de Cornouailles; on la délaiera dans l'eau; on laissera déposer un moment pour permettre aux matières étrangères de se rassembler au fond du vase; on décantera ensuite, en faisant passer à travers un tamis de soie très-fin l'argile en suspension, qui, peu à

Le 0° de ce pyromètre correspond à 580,55 du thermomètre centigrade; et chacun de ces dégrés égale 72,22 dégrés du même thermomètre, suivant Wedgwood; mais il est évident, d'après ce que nous avons dit de la dilatation des solides, que la marche de ce thermomètre n'est pas proportionnelle à celle de la chaleur, et qu'il en est de même de tous les pyromètres.

On attribue généralement à la perte d'une portion d'eau le retrait qu'éprouve l'argile à une haute température. Cette opinion est fondée pour les basses températures; mais elle est erronée pour les températures au-dessus de 29° du pyromètre, ainsi que Théodore de Saussure s'en est assuré par l'expérience suivante : un cylindre pyrométrique qui, avant d'avoir été chauffé, pesait 15gram.,72, avait perdu, à 29 dégrés, 132 milligrammes; depuis ce terme jusqu'au 170° dégré, il ne perdit plus rien, quoiqu'il eût diminué de plus d'un

---

peu, se précipitera; on décantera l'eau devenue claire, et on fera sécher. On mêlera alors cette argile sèche avec la moitié de son poids d'alumine pure; on délaiera le tout dans deux cinquièmes d'eau en poids; on pétrira avec le plus grand soin la pâte qu'on obtiendra ainsi; on la fera passer, à l'aide d'une légère pression, par des trous pratiqués au fond d'un cylindre de fer un peu épais, et l'on aura de longues baguettes qu'on coupera en pièces de longueur convenable. Ces trous devront avoir précisément la même forme que les pièces, c'est-à-dire celle d'un cylindre dont on aurait enlevé un petit segment : quant à leur diamètre, il sera d'environ 13,15 millim. (l'auteur ne l'indique pas), ou plutôt il sera tel que chaque pièce, après sa dessiccation, en ait un de 12,7 millimètres. Toutes seront séchées à la chaleur de l'eau bouillante; puis on les examinera, afin de s'assurer qu'elles correspondent au 0° de la jauge. Quand bien même elles y entreraient d'un à deux dégrés, on pourrait les regarder comme bonnes : seulement il faudrait marquer ce nombre sur un des bouts de la pièce pour le déduire de la température observée. Dans tous les cas, il sera utile de les faire cuire dans un four jusqu'au rouge naissant : par ce moyen, elles prendront assez de dureté pour qu'elles puissent être exposées tout-à-coup à une très-haute chaleur sans éprouver de gerçures. (*Voy. la description du pyromètre*, *Transact. philosoph.*, LXXII, LXXIV et LXXVI).

Au lieu de tracer les divisions sur une échelle d'ivoire ou de cuivre, il vaudrait mieux les graver sur le verre ; mais on ne peut bien le faire qu'avec une machine à diviser. Cette machine a d'ailleurs un autre avantage ; c'est qu'elle permet de faire des divisions de l'égalité desquelles on est plus certain que de celles qui sont faites au compas.

S'étant ainsi procuré un tube soit cylindrique, soit divisé en petites portions d'égale capacité, et l'ayant desséché, on attache l'une de ses extrémités à l'ouverture d'une bouteille de caoutchouc (*gomme élastique*), et l'on expose l'autre à la flamme de la lampe jusqu'à ce que le verre se ramollisse : alors on arrondit en bouton la partie ramollie, à l'aide d'une petite tige de fer ou de cuivre ; on continue de la chauffer jusqu'au rouge blanc, ayant soin de tourner doucement le tube entre les doigts, ensuite on retire celui-ci de la flamme ; on le tient verticalement, de manière que la partie chauffée soit en haut ; puis, pressant avec la main sur la bouteille de caoutchouc, l'extrémité du tube se trouve soufflée en boule. Si cette boule n'a pas la grosseur qu'on désire, on la ramollit à la lampe, en ayant toujours le soin de tourner le tube sur lui-même, et on le souffle de nouveau (1).

Cela étant fait, on chauffe cette boule pour chasser une partie de l'air qu'elle contient, on plonge ensuite l'extrémité du tube dans du mercure pur, sec et chaud (2) ; tout-à-coup le mercure s'élève, parvient peu à peu jusque dans la boule,

---

(1) On ne doit point souffler les boules de thermomètre avec la bouche, parce qu'on y porterait de l'humidité qu'il serait très-difficile de chasser. D'ailleurs, il serait très-difficile aussi, et même impossible, de souffler de cette manière une boule à l'extrémité d'un tube d'un très-petit diamètre.

(2) Il faut que le mercure que l'on emploie ait été distillé avec soin, puis agité avec de l'acide sulfurique. La distillation le sépare des matières qu'il pourrait tenir en dissolution, et l'acide sulfurique dissout la petite quantité d'oxide dont il est souvent enveloppé. D'ailleurs on enlève l'acide par des lavages à grande eau, et l'on sèche le métal, d'abord avec du papier Joseph, puis par la chaleur.

et la remplit en partie à mesure qu'elle se refroidit. On répète cette opération deux ou trois fois, mais en portant chaque fois le mercure jusqu'à l'ébullition. Il se forme ainsi de la vapeur mercurielle qui chasse l'air de la boule et du tube, et qui, par sa condensation, opère un vide à l'aide duquel la boule et tout le tube se remplissent de mercure. Lorsque ce point est atteint, on fait sortir du tube, par une chaleur convenable, assez de mercure pour qu'il n'en reste plus, à la température ordinaire, qu'une certaine quantité, par exemple, environ le tiers de sa hauteur; on fait fondre l'extrémité du tube à la lampe, on l'effile, et on la ferme hermétiquement, en dirigeant dessus le dard de la flamme d'un chalumeau, au moment où, après avoir exposé de nouveau la boule à l'action du feu, le mercure s'est élevé jusqu'à la partie supérieure de l'instrument (1).

La méthode que nous venons d'indiquer pour remplir de mercure les tubes thermométriques est bonne: c'est celle qu'on emploie dans la construction des thermomètres ordinaires. Cependant la suivante mérite la préférence; elle permet de chasser plus facilement du thermomètre toutes les petites bulles d'air. Soudez un petit entonnoir à l'extrémité du tube thermométrique, et pour cela, avant de souffler la boule, ayez soin d'élargir un peu à la lampe l'ouverture de cette extrémité : le tube deviendra semblable à celui qui est représenté *fig.* 39. Placez-le sur une grille de fil de fer légèrement courbe, inclinée sous un angle d'environ 45°, et dont le bord inférieur sera relevé (*fig.* 40); versez le

(1) On ne conserve pas le tube plein de mercure, parce que le thermomètre ne pourrait point indiquer les dégrés supérieurs à l'eau bouillante; et l'on ne ferme le tube qu'au moment où le mercure s'est élevé par la chaleur jusqu'à l'extrémité de la tige, pour qu'il n'y reste point d'air. S'il en restait dans cette tige, le thermomètre pourrait se briser à une haute température; car alors cet air serait fortement comprimé, et d'ailleurs il pourrait, en se mêlant au mercure, rompre la colonne que forme ce métal.

plus possible de mercure dans l'entonnoir ; chauffez peu à peu l'appareil avec des charbons que vous mettrez dans un fourneau long au-dessus duquel sera la grille, et bientôt le mercure parviendra jusque dans la boule et la remplira. Vous pourrez de temps en temps redresser le tube et le secouer pour faciliter l'introduction du métal. Dans tous les cas, il faudra le chauffer assez, à la fin, pour porter le mercure à l'ébullition ; il faudra même la soutenir pendant quelque temps, afin d'être certain que toutes les petites bulles d'air soient parfaitement expulsées. Cette opération se fait sans aucune difficulté et sans aucun inconvénient, en raison de l'entonnoir, qui pour lors ne contient plus que peu de mercure, et qui peut recevoir celui que la chaleur fait sortir et le laisser rentrer au besoin : du reste, on coupe le tube avec une bonne lime au-dessous de l'entonnoir, et l'on se conduit comme il est dit précédemment.

Il ne s'agit plus maintenant que de graduer le tube pour achever la construction du thermomètre : on le gradue diversement en raison du thermomètre que l'on veut obtenir. Nous ne parlerons spécialement que de la graduation du thermomètre centigrade, parce qu'une fois connue, il sera facile de se faire une idée des autres, et que, d'ailleurs, nous n'emploierons que cette sorte de thermomètre. On plonge d'abord la boule, et la partie du tube qui contient du mercure, dans la glace fondante ; on les y laisse pendant quelque temps, ou plutôt jusqu'à ce que le mercure se soit arrêté en un point que l'on marque avec de la cire à cacheter : ensuite on les retire de la glace, et on les expose à la vapeur de l'eau distillée bouillante, sous une pression de 76 centimètres. A cet effet, on met quelques centimètres d'eau distillée dans un vase d'étain ou de fer-blanc bien propre, dont les parois sont de 8 à 10 centimètres plus élevées que le thermomètre : ce vase porte un couvercle percé de deux trous, dont l'un est destiné à laisser passer la partie supérieure du tube, et l'autre sert à donner issue à la vapeur d'eau. Le baromètre étant à 76 centimètres, on dispose le

thermomètre dans le vase, de manière que le point du tube où l'on présume que doit s'arrêter le mercure soit un peu au-dessus du couvercle; on place le vase sur le feu, et l'on porte l'eau à l'ébullition. Le mercure, enveloppé de vapeurs aqueuses, s'élève graduellement dans le tube, et se fixe en un point que l'on marque avec de la cire, comme celui qui correspond à la glace fondante. Il est bien évident que ces deux points déterminés dans un lieu quelconque seront toujours les mêmes, puisque, d'une part, la glace fond partout à la même température, et que, de l'autre, la vapeur de l'eau distillée bouillante est partout au même dégré de chaleur sous la même pression (1). Ayant ainsi obtenu ces deux points fixes, on divise en 100 parties d'égale capacité l'intervalle qui les sépare, et l'on partage en parties égales à celles-ci la capacité du tube qui se trouve soit au-

(1) L'air presse sur tous les corps; l'élévation du mercure dans le baromètre indique son dégré de pression. On fait l'expérience que nous venons de rapporter à la pression de 76 centimètres, parce que, comme nous l'avons vu page 92, l'eau exige d'autant plus de chaleur pour entrer en ébullition, qu'elle est soumise à une pression plus considérable. Il suit de là que les couches inférieures d'eau doivent bouillir moins facilement que les supérieures, puisqu'elles sont soumises non seulement à la pression de l'atmosphère, mais encore à celle des couches au-dessous desquelles elles se trouvent. C'est pourquoi l'on ne doit pas déterminer le second point fixe en plongeant le thermomètre dans l'eau bouillante; ou du moins, si l'on employait ce moyen, il faudrait n'y plonger que la boule. C'est encore pourquoi l'on a recommandé de ne mettre que quelques centimètres d'eau dans le vase où la vapeur doit se former; car cette vapeur étant toujours à la même température que les couches d'eau dont elle provient, il s'ensuit que si ces couches étaient multipliées, la vapeur qui se formerait à la surface serait sensiblement moins chaude que celle qui se formerait au fond.

Il est encore une observation essentielle à faire : le vase qui contient l'eau doit être bien propre; s'il contenait quelques matières en poudre, telles que du sable, du verre pilé, de la limaille de fer, l'eau, en raison des pointes dont ces poudres seraient hérissées, entrerait en ébullition à un dégré de chaleur sensiblement inférieur.

dessus, soit au-dessous de cet intervalle. Chaque partie prend le nom de *dégrés;* le point qui correspond à la glace fondante est le *zéro* ou le 0° du thermomètre, et par conséquent celui qui correspond au point de l'eau bouillante en est le centième dégré. Les dégrés qui sont au-dessous de 0° s'expriment par le signe —, et ceux qui sont au-dessus par le signe +.

Tous les dégrés auront la même longueur si le diamètre du tube est cylindrique, et en auront une différente s'il ne l'est point. Dans tous les cas on peut les indiquer facilement sur une lame en cuivre ou en ivoire, comme nous l'avons dit précédemment page 111. Supposons que le diamètre du tube soit cylindrique, la ligne que l'on aura tracée sur la lame devra être partagée en parties égales, et 100 de ces parties auront la même étendue que l'intervallè compris entre les deux points fixes. Supposons le contraire, il ne s'agira que de prendre pour un dégré un certain nombre des divisions du tube, lesquelles auront été marquées primitivement sur la lame même, page 111. Si ces divisions sont au nombre de 300 entre les deux points fixes, on en prendra 3 pour équivaloir à chaque dégré du thermomètre.

La longueur des dégrés sera d'autant plus grande que la boule aura plus de capacité, et que le tube en aura moins ou sera plus capillaire : il faudra donc que la capacité de la boule ne soit pas trop grande relativement à celle du tube, si l'on veut que le thermomètre indique un grand nombre de dégrés ; et d'ailleurs, il faudra faire en sorte que le 0° soit à plus ou moins de distance de la boule, selon que l'on voudra avoir plus ou moins de dégrés au-dessous ou au-dessus de 0°.

Tantôt les thermomètres sont à boule ou réservoir sensiblement sphérique, tantôt à réservoir cylindrique : ceux-ci sont un peu plus sensibles, parce qu'ils présentent plus de surface. Lorsque le réservoir doit être grand, on le souffle à part, et on le soude au tube thermométrique : on amincirait trop le verre en le soufflant à l'extrémité de celui-ci.

(*Voyez* pl. 3, *fig.* 32, un thermomètre à réservoir sphérique).

Une fois qu'on se sera procuré un thermomètre tel que celui que nous venons de décrire, et qu'on appelle thermomètre *étalon*, il sera très-facile de se procurer autant de thermomètres à mercure qu'on voudra. Il suffira de prendre un tube capillaire, en donnant toutefois la préférence à celui qui approchera le plus de la forme cylindrique; de souffler une boule à son extrémité; de le remplir exactement de mercure, comme on l'a dit page 113; de déterminer, comme précédemment, les points fixes de la glace fondante et de l'eau bouillante; d'en déterminer ensuite plusieurs autres en plongeant ce thermomètre, comparativement avec le thermomètre *étalon*, dans un même vase rempli d'eau, que l'on portera successivement à différentes températures; et d'achever la division, en regardant comme cylindrique l'intervalle qui se trouvera entre deux points consécutifs. Supposons que l'un de ces points corresponde au 10° dégré et l'autre au 15°, on divisera l'intervalle en 5. On s'y prendra de la même manière pour obtenir les dégrés soit au-dessous de 0°, soit au-dessus de l'eau bouillante; si ce n'est que, pour la détermination des premiers, on fera usage de liquides non congelables, tels que l'alcohol, et refroidis par des mélanges frigorifiques; et que, pour la détermination des seconds, on se servira de liquides qui ne bouillent que bien au-dessus de 100°, par exemple, de mercure.

On se procurera facilement aussi par ce procédé des thermomètres à esprit de vin. Ces sortes de thermomètres sont aussi exacts que ceux à mercure, puisque leur marche est évidemment la même; mais ils sont peu sensibles. On s'en sert particulièrement pour mesurer les basses températures, et surtout celles qui approchent ou qui sont au-dessous du 40° dégré, point auquel le mercure se congèle. D'ailleurs, ils ne sont point propres à indiquer une chaleur beaucoup plus grande que 78 à 79°, parce que c'est à ce dégré que l'esprit de vin bout sous la pression ordinaire, et qu'alors il n'est contenu

dans le tube que par la résistance que les parois de celui-ci opposent à la vapeur alcoholique.

Outre le thermomètre centigrade, qui est le seul dont nous nous servirons, et le même que celui de Celsius, il en est trois autres qui sont assez généralement employés, savoir : celui de Réaumur ou plutôt de Deluc, en France, en Italie, en Espagne; celui de Fahrenheit en Angleterre, et celui de Delisle en Russie. Ces thermomètres ne diffèrent du thermomètre centigrade que par les points fixes dont on est parti pour leur construction, et par la valeur de chaque dégré de leur échelle.

Le thermomètre de Réaumur a les mêmes points fixes que le thermomètre centigrade, c'est-à-dire, la glace fondante et l'eau bouillante. On partage en 80° l'intervalle compris entre ces deux points. Le 0° correspond à la glace fondante.

Le thermomètre de Fahrenheit a pour points fixes l'eau bouillante et le froid produit par un mélange de sel marin et de neige. L'intervalle compris entre ces deux points est divisé en 212. Le 0° correspond au point donné par le froid, et son 32° dégré au 0° du thermomètre centigrade ou de Réaumur.

Le thermomètre de Delisle n'a qu'un point fixe, savoir, celui de la chaleur de l'eau bouillante : ce point est le 0° de l'instrument. Chaque dégré au-dessous de ce terme est un 0,0001 de la capacité de la boule, et de la partie du tube qui se termine au 0°. Le 150° dégré de l'échelle descendante de ce thermomètre correspond au 0° du thermomètre centigrade : ce thermomètre est toujours à mercure.

On voit, d'après cela, que 5° du thermomètre centigrade équivalent à 4° du thermomètre de Réaumur, à 9° du thermomètre de Fahrenheit, et à 7°,5 du thermomètre de Delisle.

Il paraît, d'après les observations récentes de M. Bellani de Monza, que le point 0° de tous les thermomètres à mercure, quand il est tracé sur le tube de ces instrumens immé-

diatement après leur construction, s'élève d'une manière sensible dans l'espace d'un certain temps. Cette élévation est quelquefois de 1° et plus. L'auteur l'attribue à un rétrécissement lent et successif du réservoir, dont il ne rend pas compte. M. Flaugergues, en considérant, d'une part, qu'il existe un vide au-dessus du mercure dans le tube thermométrique, et, de l'autre, que le verre de la boule est mince et élastique, croit que cette différence tient à ce que celui-ci cède, jusqu'à un certain point, à la pression atmosphérique.

Aussi a-t-on trouvé que les thermomètres à esprit de vin, dont l'espace vide en apparence est rempli de vapeur d'une assez grande densité, ne sont point sujets à ce dérangement.

M. Flaugergues propose, en conséquence, de laisser ouvert le tube des thermomètres à mercure, et d'en fermer seulement l'extrémité avec une boule de coton. Mais cette boule garantirait-elle suffisamment le mercure de l'humidité, de la poussière et de toute oxidation? Nous ne le pensons pas.

Quoi qu'il en soit, il est évident qu'on doit vérifier de temps en temps la graduation des thermomètres à mercure scellés, soit en les plongeant dans de la glace fondante, soit en les immergeant dans de l'eau bouillante. (*Ann. de Chim. et de Phys.*, t. XXI, p. 330).

Thermomètres à air. La dilatation des gaz étant égale et uniforme, il est évident qu'un thermomètre gazeux, par exemple, qu'un thermomètre à air, serait de tous les thermomètres le meilleur, si la pression extérieure au fluide, et qui s'appuie sur lui, pouvait toujours être la même; car l'influence qu'aurait la dilatation de l'enveloppe thermométrique serait si petite que l'on pourrait la négliger. Malheureusement cette constance de pression est une condition que l'on n'est point encore parvenu à remplir. M. Leslie, à la vérité, a vaincu cette difficulté dans son thermomètre différentiel; mais aussi ce thermomètre, qui est fort ingénieux, indique seulement des différences de température. C'est ce que l'on va voir par la description que nous allons donner.

Pour le construire, on prend deux tubes d'un diamètre un peu plus grand que celui des thermomètres ordinaires : leur longueur peut être inégale. On souffle à l'extrémité de chacun d'eux une boule de 10 à 12 millimètres de diamètre ; on introduit dans l'une d'elles une petite quantité d'acide sulfurique teint en rouge avec du carmin, et l'on soude ensemble les deux tubes, en les présentant à la flamme de la lampe ; on recourbe ensuite ces deux tubes, qui n'en forment plus qu'un, de manière à leur donner la forme de la lettre U ; on les assujettit sur un support, et l'on fixe, le long de la branche dont la boule est vide, une échelle dont on fera connaître la graduation plus bas. (*Voy.* pl. 3, *fig.* 41). F représente le niveau du liquide dans la boule A, et E le représente dans le tube BC. Les dimensions de ce thermomètre peuvent varier. Les boules ont de 10 à 12 millimètres de diamètre, et sont distantes d'environ 6 à 8 centimètres l'une de l'autre. Les deux branches AD et BC peuvent avoir de 8 à 16 centimètres de hauteur ; le tube BC, qui porte l'échelle, doit avoir un calibre exact d'environ un demi-millimètre. Dans tous les cas, la boule A prend le nom de *boule focale*, parce que, dans les expériences, elle occupe toujours l'espace le plus chaud.

Si l'on expose les deux boules à la même température, le liquide étant également pressé de part et d'autre, restera stationnaire ; mais si l'on chauffe la boule A, le liquide montera dans le tube BC, à une hauteur proportionnelle à l'excès de l'élasticité de l'air de cette boule sur celle de la boule B. Ce thermomètre indique donc la différence de température des deux espaces occupés, l'un par la boule A, et l'autre par la boule B ; et voilà pourquoi M. Leslie l'a appelé *thermomètre différentiel*. La graduation en est fort simple : on expose les deux boules du thermomètre à la même température, et l'on note le point auquel répond la colonne liquide dans le tube BC ; ce point est le zéro du thermomètre. Ensuite on expose en même temps la boule A à un certain nombre de dégrés au-dessus de 0°, par

exemple, à 10°, et la boule B à 0°, ce qu'il est facile de faire en plaçant l'instrument dans une chambre à 10°, mettant un écran entre les deux boules, et entourant la boule B de glace ou de neige. Par ce moyen le liquide s'élève dans le tube BC, et s'arrête en un point qu'on note comme le premier; puis l'on divise en 100 parties l'espace compris entre ce point et le 0°. On se procure les dégrés au-dessous de 0° en faisant une opération inverse, c'est-à-dire, en exposant la boule B à une certaine température au-dessus de 0°, et en entourant la boule A de glace.

La marche de ce thermomètre est facile à concevoir. Lorsque le liquide est à 0°, l'air des deux boules est à la même température. Son ascension au-dessus de 0° indique que l'air de la boule A est plus chaud que celui de la boule B. Son abaissement au-dessous de 0° indique le contraire. 10° de ce thermomètre égalent un dégré du thermomètre centigrade.

C'est pour estimer la chaleur réfléchie par les miroirs et concentrée en un point, que M. Leslie a inventé le thermomètre différentiel; mais il faut observer qu'en couvrant la boule B d'une feuille d'or, on peut le rendre propre à mesurer toute espèce de chaleur transmise à distance, par exemple, les quantités de chaleur qui sont continuellement communiquées par le feu aux corps qui sont dans une chambre, parce qu'alors cette boule absorbera environ huit fois moins de chaleur que si elle était à nu.

M. Leslie est même parvenu à le rendre assez sensible pour être influencé par le passage des nuages. A cet effet, il renferme chaque boule dans une cavité en cuivre : celle où se trouve la boule focale est parabolique, polie intérieurement, et tellement construite, que l'on peut en enlever à volonté la partie supérieure, qui ne sert que de couvercle. La boule doit occuper le foyer de la capacité, et être beaucoup plus petite que celle-ci. Place-t-on cet instrument dehors, par un temps serein et à l'ombre, et le découvre-t-on après qu'il a pris la température de l'air, à l'instant la liqueur

monte : mais un nuage vient-il à passer au-dessus de l'observateur, tout à coup elle baisse ; c'est que, dans ce cas-ci, le nuage réfléchit une portion de chaleur sur la boule focale, par le moyen de la cavité ; tandis que, dans le premier cas, rien de semblable n'a lieu ; le nuage fait en quelque sorte l'office de couvercle, et agit d'autant plus qu'il est moins éloigné.

Au lieu d'introduire dans l'appareil une grande colonne de liquide, on peut n'y faire entrer qu'un petit index comme dans la figure 23 ; son mouvement vers l'une des boules indique un excès de chaleur dans l'autre, et on en fait le même usage que du précédent. Ainsi modifié, l'invention en appartient à Rumford.

Thermomètre à maximum et à minimum. On appelle ainsi les thermomètres qui sont construits de manière à indiquer, quand on les consulte, la plus haute et la plus basse de toutes les températures, qui se sont succédées depuis que l'instrument a été mis en expérience. La figure 24 représente un thermomètre de cette espèce ; il se compose d'un tube recourbé, comme l'indique la figure, et fermé par ses deux extrémités : l'espace *Rc* est rempli d'esprit de vin, *cec* est du mercure, et *ca* de l'esprit de vin. En *b* et en *d* on voit deux index en fer qui sont aplatis par la partie qui repose sur la surface du mercure ; sur le côté de ces index se trouve une boucle de cheveux qui presse les parois du tube, et par son élasticité tend à les maintenir stationnaires : l'effort qui en résulte est cependant assez faible pour qu'ils puissent marcher quand il sont poussés par le mercure. L'appareil ainsi construit ; pour le mettre en expérience, il ne reste plus qu'à amener, au moyen d'un aimant, les index en contact avec le mercure, et à le placer dans les circonstances où doivent se produire les températures dont on veut observer les limites. Quand la température s'élève, R*ced* se dilatant élève l'index *d* ; si, ensuite, la température vient à s'abaisser, l'esprit de vin qui se trouve en R se contracte, et la surface *cc* du mercure soulève l'index *b* : on a soin pour aider

cet effet de donner à la colonne *ed* une plus grande hauteur qu'à la colonne *ebc*. Les mêmes effets peuvent se produire plusieurs fois; mais comme le mercure en se retirant n'entraîne pas avec lui les index que l'élasticité des boucles de cheveux retient, l'index *d* gardera la position où le mercure l'aura porté au moment où la température *maximum* a eu lieu, et l'index *b* indiquera par sa position la température *minimum*. On gradue cet instrument par comparaison avec un bon thermomètre ordinaire.

L'utilité des thermomètres est si généralement sentie, que ces instrumens sont aujourd'hui d'un usage général : c'est par leur moyen qu'on reproduit à volonté une température sous l'influence de laquelle on a reconnu qu'une opération pouvait être faite avec succès. On peut même dire que, sans l'invention des thermomètres, les chimistes et les physiciens seraient encore dans l'impossibilité de faire connaître avec précision la plupart de leurs travaux d'où dépendent les progrès d'une foule d'arts nécessaires à la société. Il est important toutefois, pour ne diminuer en rien les avantages qu'ils présentent, de se rappeler que les différens corps ne se dilatent point proportionnellement dans les mêmes circonstances (*voy.* pages 60, 61 et 62), les substances gazeuses exceptées. On conçoit, d'après cela, que deux thermomètres construits avec des liquides ou des solides différens, ne marqueraient pas le même nombre de dégrés dans les mêmes circonstances, et qu'il en résulterait de graves inconvéniens : par exemple, deux thermomètres gradués selon Réaumur, l'un à mercure et l'autre à eau, marqueraient en même temps le premier 40° et le second 20°,5 (*Voy.* le tableau de la page 62). Pour détruire cette source d'erreurs, on est convenu de rapporter toutes les expériences au thermomètre à gaz ou au thermomètre à mercure, lorsque la température ne surpasse pas 100°. (Au-dessous de cette limite, les dilatations des gaz et du mercure sont constamment proportionnelles). Le moyen le plus commode pour y arriver est de graduer tous les thermomètres faits avec des substances non gazeuses

et autres que le mercure par comparaison avec le thermomètre à gaz, ou pour les basses températures avec le thermomètre à mercure. Veut-on graduer un thermomètre à huile? On le plonge avec un thermomètre à mercure dans un vase rempli d'eau, et on chauffe lentement; de temps en temps on consulte le thermomètre à mercure, et on marque à chaque fois le dégré qu'il indique à l'endroit où l'huile s'arrête. Il est évident que les indications d'un thermomètre quelconque ainsi préparé, seront comparables avec celle du thermomètre à mercure.

Si nous n'avions jamais besoin que de porter certains corps à des températures déterminées, le thermomètre serait un guide qui ne nous laisserait rien à désirer; mais il est souvent nécessaire de connaître aussi la quantité de mouvement qu'il faut communiquer à un corps pour élever sa température d'un dégré, ou plutôt les rapports des quantités de mouvement qu'il faut communiquer à différens corps pour élever leur température d'un dégré, et de savoir évaluer l'intensité des sources de chaleur et de froid, afin de soumettre leurs effets au calcul, et de les régler d'après les besoins qu'on en a. On est parvenu à ce but par diverses méthodes qui reposent sur des principes dont l'évidence sera facilement saisie.

Calorimètre de MM. Lavoisier et Laplace. La *fig.* 2 représente une coupe de cet instrument : A est une cavité destinée à recevoir le corps qu'on veut soumettre à l'expérience, *e* son couvercle, BC un espace renfermé entre les parois de cette cavité et une seconde enveloppe; cet espace est rempli de glace, et est terminé à sa partie inférieure par un robinet *a*. DE représente un second espace aussi rempli de glace, et communiquant avec l'extérieur par le robinet F; le couvercle *a* ferme l'appareil. Pour comparer les quantités de mouvement qu'il faut communiquer à différens corps pour élever également leurs températures, on place successivement des poids égaux de chacun dans la

cavité A, en observant de les prendre tous à une même température, à 10° par exemple, et de placer le calorimètre dans un espace plus chaud que la glace, afin qu'elle soit toujours prête à fondre. Le corps, après un certain temps, s'est refroidi par l'action de la glace avec laquelle il s'est mis en équilibre de température; mais en perdant la quantité de mouvement qu'il avait reçue précédemment pour passer de 0° à 10°, il en a communiqué une quantité égale à la glace qui l'environne, les attractions étant toujours réciproques (*voy.* pag. 43), et l'eau qui en est provenue s'est rendue par le robinet *a* dans un vase destiné à la recevoir : une toile qu'on aperçoit dans la figure empêche qu'elle n'entraîne avec elle de petites parcelles de glace non fondue. La couche DE empêchant d'ailleurs l'action des corps extérieurs sur la couche BC, on aura, en pesant l'eau reçue, le poids de la glace dont la fusion peut être opérée par la quantité de mouvement qu'on veut évaluer (1); et si l'on fait de pareilles expériences pour différens corps, les poids ainsi obtenus feront connaître les rapports cherchés auxquels ils sont évidemment proportionnels.

En opérant ainsi, et en désignant par 1 la quantité de mouvement qui doit être communiquée aux atomes de l'eau pour élever de 1° la température de 1 kilogramme de ce liquide, MM. Laplace et Lavoisier ont été conduits aux résultats renfermés dans le tableau suivant :

---

(1) Comme la glace qui retient une partie de cette eau adhérente à sa surface, on n'en a tout le poids qu'autant qu'on a pris la précaution de placer, quelque temps avant l'expérience, un corps chaud dans l'appareil, afin de produire de l'eau dont une partie reste adhérente à la surface de la glace, et établit une compensation à peu près exacte.

NOMS des SUBSTANCES.	NOMBRES PROPORTIONNELS aux quantités de mouvement nécessaires pour élever de 0° la température de 1 kilogramme de chaque corps.
Eau.	1, 0000
Plomb.	0, 0282
Mercure.	0, 0290
Etain.	0, 0475
Oxide rouge de mercure. .	0, 0501
Fer battu.	0, 1105
Verre sans plomb.	0, 1929
Soufre.	0, 2085
Chaux vive.	0, 2169
Huile d'olive.	0, 3096
Acide sulfurique, densité 1,87.	0, 3346
Acide nitrique, densité 1,30.	0, 6614
Solution de nitre (nit. 1, eau 8)	0, 8187

Les expériences sur les liquides se font en les renfermant dans des flacons qu'on a placés d'abord seuls dans le calorimètre, pour déterminer les quantités de glace qu'ils peuvent fondre.

On peut aussi par les mêmes procédés comparer les quantités de mouvement nécessaires pour élever un même corps à différens dégrés. Supposons qu'il s'agisse du fer, on portera un morceau de ce métal à 50° par exemple, et on le placera promptement dans le calorimètre, puis on pèsera la quantité de glace fondue; on la portera ensuite à 100°, 150°, 200°, 250°, et on pèsera à chaque fois la quantité de glace fondue. Les poids obtenus ne seront pas exactement proportionnels aux nombres 50, 100, 150, 200, 250; ils croîtront un peu plus rapidement, et on en concluera qu'il faut communiquer plus de mouvement à un morceau de fer pour le porter de 50° à 100°, que pour le porter de 0° à 50°; qu'il en faut plus encore pour le porter de

100° à 150°, et ainsi de suite. Cependant les différences ne sont pas grandes; et quand on ne veut pas atteindre une grande précision, on peut n'en pas tenir compte.

Les autres corps conduiraient à des résultats analogues; c'est ce que prouvent les expériences de MM. Dulong et Petit, rapportées dans le tableau suivant :

NOMS des SUBSTANCES.	MOYENNES entre les nombres proportionnels aux quantités de mouvement nécessaires pour élever de 1° la température de 1 kilogr. de chaque corps entre 0° et 100°.	MOYENNES entre les nombres proportionnels aux quantités de mouvement nécessaires pour élever de 1° la température de 1 kilogr. de chaque corps entre 0° et 300°.
Eau.	1, 0000	»
Mercure.	0, 0330	0, 0350
Platine.	0, 0335	0, 0355
Antimoine. . . .	0, 0507	0, 0547
Argent.	0, 0557	0, 0611
Zinc.	0, 0927	0, 1015
Cuivre.	0, 0940	0, 1013
Fer.	0, 1098	0, 1218
Verre.	0, 1770	0, 1900

MM. Petit et Dulong se sont servi d'une autre méthode pour parvenir à ces résultats; ils mélangeaient ensemble deux corps, l'un chaud et l'autre froid, par exemple, un kilogramme de mercure à 100° avec un kilogramme d'eau à 0° : l'équilibre de chaleur s'établissait promptement, et ils observaient au moyen d'un thermomètre la température du mélange. Dans le cas que nous venons de citer, elle se trouve être 3°, de sorte que celle du mercure est abaissée de 97°, et la quantité de mouvement qu'il a perdue n'a été que suffisante pour élever de 3° celle de l'eau. Il suit de là que les quantités de mouvement qui élèveraient d'un

même nombre de dégrés les températures de ces deux liquides, sont entre elles : : 3 : 97 ; ou bien en représentant par 1 celle qui est relative à l'eau, celle du mercure doit l'être par 0,03 environ ; et, dans tous les cas, ces quantités de mouvement seraient entre elles en raison inverse des variations des températures. Il est inutile de faire observer que le vase où se fait le mélange doit être, autant que possible, préalablement porté à la température que le mélange doit acquérir.

Quand les poids des substances mélangées sont différens, on en tient facilement compte : soit q la quantité de mouvement nécessaire pour élever de 1° la température de 1 kil. de la substance froide, p son poids et t sa température ; désignons encore par q', p', t' les quantités analogues relatives à la substance chaude, et par T la température du mélange.

Pendant que l'équilibre s'établit, la température de la substance chaude baisse d'un nombre de dégrés égal à $(t'-T)$; chaque kilogramme de cette substance perd donc une quantité de mouvement qui est à peu près $(t'-T)$ fois q', et le poids employé p' perd une quantité de mouvement p' fois plus grande et égale par conséquent à $p'q'(t'-T)$. D'un autre côté, la substance froide acquiert, ainsi qu'on le prouverait par un raisonnement semblable, $pq(t-T)$: et comme aucune quantité de mouvement ne peut ici se perdre, toutes les actions étant réciproques, on en conclut l'équation :

$$p'q'(t'-T) = pq(t-T),$$

qui fait connaître le rapport cherché :

$$\frac{q'}{q} = \frac{p}{p'}\,\frac{(t-T)}{(t'-T)}$$

La méthode des mélanges peut aussi être employée avec succès pour déterminer les quantités de chaleur perdues ou produites pendant le changement d'état des corps : elle nous a serv.

(page 30) à prouver qu'il faut pour vaporiser une quantité quelconque d'eau à 100°, cinq fois et demie autant de chaleur que pour la porter de 0° à 100°. On peut déterminer de la même manière la quantité de chaleur nécessaire pour réduire d'autres liquides en vapeur, ou pour liquéfier des corps solides. Nous prendrons l'eau pour exemple de cette dernière application : on mélange un kilogramme d'eau à 75° avec un kilogramme de glace à 0° ; la glace fond, et après sa fusion les deux kilogrammes d'eau sont à 0°. On conclut de là qu'il faut autant de chaleur pour fondre un kilogramme de glace sans l'échauffer, que pour le porter de 0° à 75° après sa fusion. Les expériences qu'on a faites jusqu'à présent sur la vaporisation ne s'étendent qu'à un petit nombre de liquides, et même les résultats obtenus par les différens physiciens ne sont sensiblement d'accord que pour l'eau ; pour l'alcohol (esprit de vin), M. Despretz a trouvé que la quantité de chaleur nécessaire à son changement d'état, était au moins suffisante pour porter de 0° à 100° deux fois autant d'eau.

Calorimètre de Rumfort. Cet instrument est principalement employé pour déterminer les quantités de chaleur nécessaires pour élever les gaz à des températures déterminées. Il se compose d'une caisse de fer-blanc ou de cuivre mince B (*fig.* 42), de 22 centimètres de longueur, sur 12 centimètres de largeur et 12 de profondeur, que l'on remplit d'un poids déterminé d'eau distillée, et dont un thermomètre *t* indique à chaque instant la température. Un serpentin de métal très-mince, de forme rectangulaire, ayant 4 centim. de largeur sur 18 millim. d'épaisseur, s'ouvre au-dessous de cette caisse en forme d'entonnoir et pénètre dans son intérieur, où il fait diverses circonvolutions. On fait entrer les gaz à une température connue par l'entonnoir ; ils parcourent le serpentin, abandonnent une partie de leur chaleur en échauffant l'eau, et sortent à la même température que ce liquide. Pour soustraire, autant qu'il est possible, l'appareil à l'influence des corps

extérieurs, on détermine par une expérience préalable l'augmentation de chaleur que l'eau doit acquérir pendant l'expérience, et on la prend autant au-dessous de la température de l'air ambiant qu'elle doit s'élever au-dessus ; par exemple, si la température de l'eau employée doit s'élever de 12°, on commencera l'expérience avec de l'eau à une température inférieure de 6° à celle de l'air extérieur, et on la terminera lorsqu'elle sera élevée de 6° au-dessus. Au moyen de cette précaution, l'appareil gagne autant pendant la première moitié de l'expérience qu'il perd pendant la seconde, et il s'établit une compensation à peu près exacte. On exprime ordinairement les quantités de chaleur observées dans ces expériences et dans les précédentes, en prenant pour unité celle qui est capable d'élever de 1° la température de 1 kilog. d'eau ; d'après cela, la quantité de chaleur qui aura élevé de t° la température de 1 kilog. d'eau, sera t, et celle qui aura élevé de t° la température de m kilog., sera $m\,t$. Au moyen de cette convention, il nous sera facile d'exprimer les résultats obtenus par les physiciens qui ont étudié la chaleur dans les gaz; nous ne rapporterons pas en détail les procédés qu'ils ont employés pour y parvenir, ni les corrections que ces procédés ont nécessitées, parce que le serpentin et la caisse participaient à la chaleur communiquée à l'eau de la caisse, etc.

Tableau des quantités de chaleur nécessaires pour élever de 1° la température de 1 kilog. de différens gaz, d'après MM. de la Roche et Bérard.

Air atmosphérique.	0, 2659 (1)
Hydrogène.	3, 2336
Acide carbonique.	0, 2210
Azote.	0, 2764
Oxide d'azote.	0, 2369

(1) Suivant MM. Désormes et Clément 0,2500.

nt.	0, 4207
bone.	0, 2884
. . . . .	0, 2361
. . . . .	0, 8470

ances qu'on brûle pour pro-
ne différens gaz qu'on peut aussi
en les faisant passer dans le ser-
pter en A (*fig.* 42), une grille qui
on en combustion ; les produits qui sont
le serpentin, et par l'élévation de tempé-
de la caisse, on évalue la chaleur développée
bustion, à une petite différence près qui est due
à distance des corps voisins sur le combustible,
qui diminue un peu sa chaleur. Pour les expériences
r le suif, la cire, le gaz hydrogène, etc., on place une chandelle, une bougie ou un bec d'où il se dégage du gaz, sous l'entonnoir, et on évalue la chaleur produite de la même manière. Dans tous les cas, on doit déterminer exactement le poids du combustible brûlé, ce qui n'offre aucune difficulté, quant aux solides et aux liquides ; pour les gaz, on observe leurs volumes et on en conclut leurs poids.

Dans le tableau suivant qui contient les résultats obtenus, les lettres LL indiquent les résultats auxquels sont arrivés MM. Lavoisier et Laplace, la lettre R ceux de M. Rumfort, et les lettres CD ceux de MM. Clément et Desormes.

DÉSIGNATION des SUBSTANCES.	CHALEUR produite par la combustion de 1 kilog. de combustible.	
Hydrogène	2, 3400	LL
Huile d'olive	1, 1166	LL
Idem	9044	R
Huile de colza épurée	9307	
Cire blanche	1, 0500	LL
Idem	9479	R
Suif	8369	R
Idem	7186	LL
Phosphore	7500	LL
Éther sulfurique	8030	R
Naphte	7338	R
Alcohol à 42° Baumé	6195	R
— à 33° —	5261	R
Charbon de bois	7226	LL
Idem	7050	CD
Tourbe bonne	2000	
— mauvaise	1125	
Coke pur	7050	CD
Coke donnant 0,1 de cendre	6345	CD
Houille 1re qual. donnant 0,02 de cendre	7050	CD
— 2e — — 0,1 —	6345	CD
— 3e — — 0,2 —	5932	CD
Bois sec quelconque	3666	CD
Bois contenant 0,2 d'eau	2945	CD

Applications de la chaleur.

L'élément le plus important de la puissance humaine, est sans contredit l'emploi de la chaleur. Par le feu, l'homme change à son gré la forme des corps; il les décompose et en retire des métaux et toutes les substances nécessaires aux arts qu'il cultive; souvent aussi il les unit dans un autre ordre

pour les faire servir à ses besoins : rien n'est plus propre à manifester son génie que ces belles machines par lesquelles il a communiqué, pour ainsi dire, une partie de son intelligence à la force brute de la vapeur, et l'a rendue capable de produire tant d'admirables effets. Les limites de cet ouvrage nous obligeront à passer sous silence bien des applications utiles, ou à n'en parler que succinctement ; mais nous essaierons de choisir, pour les développer, celles dont on a le plus souvent besoin, ou qui conduisent à la connaissance de principes importans ; en suivant cette méthode, le lecteur pourra souvent suppléer aux détails dans lesquels nous n'aurons pas pu entrer, et même employer pour atteindre un but, des moyens nouveaux dont elle lui permettra de prévoir l'effet.

Applications de la dilatation des corps. La chaleur fait varier les dimensions de tous les corps et leur volume ; ces changemens sont plus ou moins grands, suivant la nature de ces corps (*voyez* pag. 54). Il en résulte quelquefois des inconvéniens graves que les architectes et les constructeurs de machines doivent prévenir, et il est indispensable pour y arriver de savoir résoudre plusieurs questions relatives à ce sujet ; nous allons les traiter de la manière la plus générale :

Connaissant le volume v d'un corps à une température t, déterminer le volume v' qu'il aura à la température t'.

Désignons par v'' le volume de ce corps à la température 0°, par A le coefficient de la dilatation de ce corps ; le volume à t° sera égal à v'' plus la dilatation qui pour un dégré sera Av'' (*voyez* pag. 56), et pour t°, tAv''. Ainsi, on aura l'équation :

$$v = v'' + tAv'',$$

et par les mêmes raisons :

$$v' = v'' + t'Av''.$$

Ces équations étant divisées l'une par l'autre, donnent

$$\frac{v'}{v} = \frac{1 + t'A}{1 + tA}, \text{ d'où } v' = \frac{1 + t'A}{1 + tA} v \quad (b),$$

formule qu'il est facile d'appliquer à tous les cas particuliers, et d'où on peut encore tirer la valeur de t' en fonctions de v';

$$t' = \frac{v'}{v\,A}(1 + tA) - \frac{1}{A} \quad (c);$$

ce qui permet de résoudre cette autre question : déterminer la température t' d'un corps, lorsqu'il a un volume v', sachant que son volume serait v à la température t.

Quand on veut se borner à une approximation qui est au reste toujours suffisante pour les solides et les liquides, on peut se servir de la formule suivante, plus simple et à laquelle on parvient en multipliant par $1 - tA$ le numérateur et le dénominateur de la fraction par laquelle il faut multiplier v pour avoir v', ce qui n'en change pas la valeur, et négligeant les termes qui contiennent A^2 comme étant très-petits, puisque A est déjà une petite fraction (*voyez* le tableau de la page 56).

$$v' = \Big(1 + (t' - t)A\Big)\,v \quad (d).$$

Les raisonnemens pour obtenir les formules relatives à la dilatation en longueur étant absolument semblables, nous ne ferons que les indiquer. Soit l la longueur à t°, l' la longueur à t'°, et a le coefficient de la dilatation en longueur du corps dont il s'agit, la valeur de l' sera

$$l' = \frac{1 + t'a}{1 + ta}\,l \quad (e).$$

On peut aussi trouver, comme pour les volumes, une formule plus simple, et donnant une approximation qui suffit dans tous les cas, puisqu'elle ne sert que pour les solides qui se dilatent tous très-peu; elle est

$$l' = \Big(1 + (t' - t)\,a\Big)\,l \quad (f).$$

la formule analogue à (c) serait dans ce cas

$$t' = \frac{l'}{l\,d}(1 + td) - \frac{1}{d} \quad (g).$$

Les formules (*b*) et (*c*) s'appliquent à tous les corps, même aux gaz et aux vapeurs; mais ces substances pouvant aussi changer de volume par la pression, il est nécessaire d'en tenir compte quand elle varie. Soient p la pression quand le volume est v, et p' la pression lorsque le volume est v'; en désignant par x le volume lorsque la température est t' et la pression p, on aura, d'après la formule (*b*),

$$x = \frac{1 + t'A}{1 + tA} v;$$

et comme, lorsque la température est la même, les volumes sont en raison inverse des pressions (*voyez* pag. 84 et 97), on en conclura :

$$v' : x :: p : p'$$

ou : $$v' : \frac{1 + t'A}{1 + tA} v :: p : p',$$

d'où on tire :

$$v' = \frac{p}{p'} \cdot \frac{1 + t'A}{1 + tA} v;$$

formule qui devient, en y remplaçant A par sa valeur $\frac{1}{267}$ (*pag.* 60 et 97), et multipliant les deux termes de la fraction $\frac{1 + t'A}{1 + tA}$ par 267, ce qui n'en change pas la valeur,

$$v' = \frac{p}{p'} \frac{267 + t'}{267 + t} v \quad (h).$$

En résolvant cette équation par rapport à t' et à p', on obtient deux nouvelles formules,

$$t' = \frac{v'}{v} \frac{p'}{p} (267 + t) - 267 \quad (i)$$

$$p' = \frac{v}{v'} \frac{267 + t'}{267 + t} p \quad (j),$$

qui peuvent servir à résoudre les deux questions suivantes : 1° déterminer la température t' d'un gaz ou d'une vapeur

ayant un volume v' sous la pression p', sachant que son volume serait v sous la pression p et à la température t; et 2° déterminer la pression p' que supporte un gaz ou une vapeur ayant un volume v' à la température t', sachant que son volume serait v à la température t et sous la pression p.

Quant aux vapeurs, on sait que si la pression surpasse la tension *maximum* de la vapeur à la température dont il s'agit, elles repassent à l'état liquide, et qu'elles ne suivent plus alors la loi découverte par MM. Gay-Lussac et Dalton. Il est facile, au moyen de la densité des vapeurs (*pag.* 137 *et suiv.*), de calculer dans ce cas la réduction de volume.

Les formules que nous venons d'établir sont utiles dans un grand nombre de circonstances dans le détail desquelles nous n'entrerons pas, leur application ne présentant aucune difficulté physique : elles vont nous servir à en obtenir quelqnes autres dont l'utilité sera par la suite facilement sentie. La chaleur augmentant le volume des corps, diminue par suite leur densité; il est même évident que ces quantités sont réciproquement proportionnelles, et qu'en désignant par d la densité d'un corps à $t°$, et par d' sa densité à $t'°$, on peut dans les formules *(b)* et *(h)* remplacer le rapport des volumes $\frac{v'}{v}$ par celui inverse des densités $\frac{d}{d'}$; résolues ensuite par rapport à d', elles deviennent :

$$d' = \frac{1 + tA}{1 + t'A} d. \quad (k)$$

$$\text{et } d' = \frac{p'}{p} \cdot \frac{267 + t}{267 + t'} d. \quad (l)$$

La première est applicable à tous les corps, quand la pression ne varie pas; elle peut même être employée sans qu'il en résulte une erreur notable, quand la pression varie pour les liquides et les solides. La seconde est applicable aux gaz et aux vapeurs. Elles peuvent servir à résoudre cette question : Déterminer la densité d' d'un corps à la température t', sachant que sa densité serait d à la tempé-

rature t. Quand il s'agit de gaz ou de vapeurs, il faut en outre qu'on connaisse la pression p' à la température t', et la pression p à la température t.

La densité des corps variant avec la température et la pression, on conçoit que la définition que nous en avons donnée page 23 serait incomplète, si on ne fixait pas une température à laquelle on convienne de faire les expériences, ainsi que la pression sous laquelle on opérera pour trouver la densité des gaz ou des vapeurs. On est convenu de prendre la densité des corps à 0° et sous la pression de $0^m,76$. On n'est pas obligé pour cela d'attendre un jour où la pression et la température soient telles ; on peut faire les expériences quand on le désire, pourvu qu'on observe exactement la température et la pression actuelles, et qu'on ramène, au moyen des formules *(k)* ou *(l)*, les résultats à ce qu'ils auraient été dans les circonstances convenues.

Cette convention n'est pas applicable aux vapeurs ; elles ne peuvent exister à une telle température sous la pression de $0^m,76$: aussi est-il nécessaire, quand on parle de la densité d'une vapeur, d'indiquer toujours sa température et la pression qu'elle supporte ; sans cette précaution on ne pourrait s'entendre. Il suffit d'ailleurs de savoir quelle est la densité d'une vapeur dans des circonstances connues, pour la déterminer aisément au moyen de la formule *(l)* dans toute autre circonstance, et on y parvient par plusieurs procédés. Nous décrirons celui de Mr Gay-Lussac, comme étant le plus simple et celui qui conduit à une plus grande exactitude. Il consiste à chercher directement le poids et le volume d'une quantité de vapeur dans des circonstances connues. On se sert pour y arriver d'un appareil représenté *fig.* 63. F est un fourneau sur lequel repose une chaudière C en partie pleine de mercure, et dont le bord est bien dressé et disposé dans un plan horizontal ; G une éprouvette remplie de mercure, et dans laquelle on a introduit une petite ampoule de verre mince A qui contient du liquide qu'on y a fait bouillir, avant de la fermer, à la

lampe d'émailleur, afin qu'elle ne renferme pas d'air. L'éprouvette G est environnée d'un manchon MM plein d'un liquide transparent, et dont la partie inférieure plonge dans le mercure de la chaudière; une monture en bois le maintient vertical. On chauffe l'appareil en allumant le fourneau; la petite ampoule est brisée par l'effort que le liquide qu'elle contient fait pour se dilater et se réduire en vapeur, et en chauffant suffisamment, le liquide disparaît entièrement. On observe alors, au moyen de deux thermomètres plongés dans le manchon, la température du liquide qui s'y trouve, température qui est celle de la vapeur. On détermine aussi la pression qu'elle supporte en retranchant de la hauteur du baromètre, au moment où se fait l'expérience, la hauteur à laquelle le mercure se tient dans l'éprouvette au-dessus de son niveau dans la chaudière qu'on mesure de la manière suivante : On place sur le bord de la chaudière une règle plate *tol*, qui reçoit dans un écrou pratiqué en son milieu une vis verticale *rr*, terminée à sa partie inférieure par une pointe, et portant un voyant *v*. En tournant cette vis convenablement, on la descend jusqu'à ce que la pointe touche la surface du mercure dans la chaudière; puis on fait mouvoir le voyant jusqu'à ce qu'on aperçoive sur son prolongement la surface du mercure de l'éprouvette : la distance de la pointe au voyant s'évalue immédiatement au moyen de divisions tracées convenablement sur la partie supérieure de la vis; elle est évidemment la hauteur cherchée.

Connaissant les circonstances dans lesquelles se trouve la vapeur formée, il ne reste plus qu'à en déterminer la densité, et pour cela il faut se servir de son poids qui est égal à celui du liquide de la petite ampoule, et de son volume qui est indiqué par les divisions tracées sur la partie supérieure de l'éprouvette (1). Soit P le poids exprimé en

(1) La chaleur augmentant la capacité de l'éprouvette, une correction est ici nécessaire. Supposons, par exemple, que les divisions

grammes, et V le volume exprimé en centimètres cubes; s'il s'agissait d'eau, d'après la définition du gramme, il y aurait autant d'unités dans P que dans V; mais pour une substance 500 ou 600 fois moins dense, P contiendrait 500 ou 600 fois moins d'unités que V; $\frac{P}{V}$ serait alors $\frac{1}{500}$ ou $\frac{1}{600}$, et égal par conséquent à la densité. Le même raisonnement pouvant être appliqué dans tous les cas, on a en général, en appelant D la densité cherchée :

$$D = \frac{P}{V} \quad (m),$$

formule qui fera connaître la densité de la vapeur, celle de l'eau étant 1 (1). Si on désirait l'obtenir, dans l'hypothèse où celle de l'air serait prise pour unité, en la désignant alors par D′, on aurait évidemment

$$D' : 1 :: D : 0{,}0013 ;$$

car cette proportion exprime que le rapport entre les densités de la vapeur et de l'air est le même, qu'on prenne pour unité la densité de l'air ou celle de l'eau; et on en tirerait l'équation

$$D' = \frac{D}{0{,}0013} \quad (n).$$

M. Gay-Lussac a trouvé que pour la vapeur d'eau la valeur de D′ était $\frac{5}{8}$, c'est-à-dire que, les circonstances étant les mêmes, le poids de 1 litre de vapeur d'eau n'était que les $\frac{5}{8}$ du poids de 1 litre d'air; sa densité D, par rapport à l'eau, est égale à 0,00059.

équivalent chacune à 10 centimètres cubes à la température de 12° à laquelle la graduation de l'éprouvette a été faite, elles auront à la température de l'appareil, au moment de l'expérience, un volume plus grand et qu'il sera facile de calculer au moyen de la formule (*b*), laquelle est applicable, puisque nous avons vu, page 59, que les vases se dilatent comme s'ils étaient massifs.

(1) Elle ferait connaître le volume au moyen de la densité et du poids, en la résolvant par rapport à V : $V = \frac{P}{D}$.

Tableau de la densité calculée au moyen de la formule (l), et du volume de la vapeur au maximum de tension, en prenant pour unités la densité et le volume de l'eau liquide à 0.

Température.	Tension	Densité.	Volume	Température.	Tension.	Densité.	Volume.
dég.	mm.			dég.	mm.		
— 20	1,333	0,00000154	650588	37	45,038	0,00004219	23704
— 15	1,879	212	470898	38	47,579	4442	22513
— 10	2,631	292	342984	39	50,147	4666	21429
— 5	3,660	398	251358	40	52,998	4916	20343
0	5,059	540	182328	41	55,772	5156	19396
1	5,393	573	174495	42	58,792	5418	18459
2	5,748	609	164332	43	61,958	5691	17572
3	6,123	646	154842	44	65,627	6023	16605
4	6,523	686	145886	45	68,751	6274	15938
5	6,947	727	137488	46	72,393	6585	15185
6	7,396	772	129587	47	76,205	6910	14472
7	7,871	818	122241	48	80,195	7242	13809
8	8,375	867	115305	49	84,370	7602	13154
9	8,909	919	108790	50	88,742	7970	12546
10	9,475	974	102670	51	93,301	8354	11971
11	10,074	0,00001032	99202	52	98,075	8753	11424
12	10,707	1092	91564	53	103,06	9174	10901
13	11,378	1157	86426	54	108,27	9606	10410
14	12,087	1224	81686	55	113,71	0,00010054	9946
15	12,837	1299	77008	56	119,39	10525	9501
16	13,630	1372	72913	57	125,31	11011	9082
17	14 468	1451	68923	58	131,50	11523	8680
18	15,353	1534	65201	59	137,94	12044	8303
19	16,288	1622	61654	60	144,66	12599	7937
20	17,314	1718	58224	61	151,70	13179	7594
21	18,317	1811	55206	62	158,96	13760	7267
22	19,417	1914	52260	63	166,56	14374	6957
23	20,577	2021	49487	64	174,47	15010	6662
24	21,805	2133	46877	65	182,71	15668	6382
25	23,090	2252	44411	66	191,27	16356	6114
26	24,452	2376	42084	67	200,18	17066	5860
27	25,881	2507	39895	68	209,44	17797	5619
28	27,390	2643	37838	69	219,06	18566	5386
29	29,045	2794	35796	70	229,07	19355	5167
30	30,643	2938	34041	71	239,45	20174	4957
31	32,410	3097	32291	72	250,23	21013	4758
32	34,261	3263	30650	73	261,43	21889	4569
33	36,188	3435	29112	74	273,03	22794	4387
34	38,254	3619	27636	75	285,07	23789	4204
35	40,404	3809	26253	76	297,57	24702	4048
36	42,743	4017	24897	77	310,49	25699	3891

Température.	Tension.	Densité.	Volume.	Température.	Tension.	Densité.	Volume.
dég.	mm.			dég.	mm.		
78	323,89	0,00026789	3741	135,00	2280,00	0,00161453	619
79	337,76	27789	3599	137,70	2570,00	173739	576
80	352,08	28889	3462	140,35	2660,00	185886	538
81	367,00	30025	3331	142,70	2850,00	198020	505
82	382,38	31195	3206	144,95	3040,00	210067	476
83	398,28	32399	3087	146,76	3230,00	222731	449
84	414,73	33637	2973	149,15	3420,00	233938	428
85	431,71	34916	2864	151,15	3610,00	245763	407
86	449,26	36237	2760	153,30	3800,00	257363	389
87	467,38	37590	2660	155,00	3990,00	268956	392
88	486,09	38984	2565	156,70	4180,00	280827	356
89	505,38	40417	2474	158,30	4370,00	292485	342
90	525,28	41891	2387	160,00	4560,00	304651	328
91	545,80	43405	2304	161,54	4750,00	315513	317
92	566,95	44956	2224	163,25	4940,00	326828	306
93	588,74	46556	2148	164,84	5130,00	338148	296
94	611,18	48201	2075	166,42	5320,00	349393	286
95	634,27	49886	2005	167,93	5510,00	360606	277
96	658,05	51613	1938	169,41	5700,00	371783	269
97	682,59	53388	1873	170,78	5890,00	382907	261
98	707,63	55191	1812	172,13	6080,00	394110	254
99	733,46	57055	1751	173,46	6270,00	405198	247
100	760,00	58955	1696	174,79	6460,00	416123	240
106,60	950,00	72391	1381	176,11	6650,00	427182	234
112,40	1140,00	85539	1169	177,40	6840,00	438111	228
117,10	1330,00	98324	1014	178,68	7030,00	447955	223
121,55	1520,00	0,00111652	896	179,89	7220,00	459873	217
125,50	1710,00	123923	806	180,95	7410,00	470858	212
128,85	1900,00	136636	732	182,00	7600,00	481690	208
132,15	2090,00	149056	671	215	22800,0	0,01570780	64

En examinant ce tableau, on voit que la densité de la vapeur croît très-rapidement avec la température. Mr Cagnard de la Tour a constaté qu'à une température voisine de celle de la fusion du zinc, l'eau pouvait se réduire en vapeur dans un espace quadruple de celui qu'elle occupe à l'état liquide. Pour cela, on remplit d'eau au quart un tube de verre très-fort; on chauffe jusqu'à l'ébullition, et on attend que la vapeur qui se forme ait pu chasser tout l'air du tube; puis, après l'avoir scellé, on élève la température de plus en plus, et il arrive un instant où le liquide disparaît tout

à coup ; un léger refroidissement le fait reparaître. A cette température, l'eau agit sur le verre et lui ôte sa transparence : sa force expansive est si grande qu'elle brise souvent l'appareil ; aussi doit-on prendre les plus grandes précautions pour se mettre à l'abri des accidens qui pourraient en résulter.

Corrections barométriques. Les variations du baromètre que nous avons attribuées (page 69) uniquement à la pression atmosphérique, proviennent aussi en petite partie des changemens de température : lorsque la chaleur augmente, le mercure de la colonne barométrique se dilate et son volume augmente sans que son poids varie ; quand la chaleur diminue, l'effet contraire arrive. On conçoit, d'après cela, que la hauteur du baromètre doit augmenter dans le premier cas et diminuer dans le second, indépendamment des variations qui peuvent survenir en même temps dans la pression atmosphérique ; et comme le baromètre est un instrument destiné à mesurer cette pression, il faut ramener ces indications à ce qu'elles seraient si la température ne changeait jamais, par exemple, si elle était toujours 0°. Pour y arriver, on emploie la formule (k) dans laquelle on remplace le rapport des densités $\frac{d'}{d}$ par le rapport inverse des hauteurs qui l'égale évidemment, et dans laquelle on fait $t = o$; elle devient alors, h désignant la hauteur cherchée, c'est-à-dire, ce que serait la hauteur du baromètre à 0°, et h' désignant la hanteur observée à la température actuelle t' :

$$h = \frac{1}{1 + A\,t'}\,h' \quad (p)$$

et désigne le coefficient de la dilatation en volume du mercure, lequel égale $\frac{1}{5\,5}$.

Chauffage. Dans le chauffage, il est plusieurs objets sur lesquels on doit porter son attention : le choix du com-

bustible, la construction des appareils destinés à l'employer le plus agréablement et le plus utilement possible, les précautions à prendre pour empêcher ces appareils de fumer.

Le combustible le plus employé pour le chauffage des habitations est le bois; mais il s'en faut de beaucoup qu'il soit partout le plus avantageux sous le rapport de l'économie : il est un grand nombre de pays, au contraire, où la houille l'emporte. Comme le prix des combustibles varie, et que celui des transports qu'il faut y ajouter est quelquefois considérable, nous ferons connaître seulement la manière de faire la comparaison, laissant à chacun le soin de l'établir pour des circonstances déterminées. Désignons par P le prix d'un quintal de l'un des combustibles qu'on veut comparer, par Q le nombre d'unités de chaleur produites par sa combustion; en divisant P par Q, on aura le prix d'une unité de chaleur, et en multipliant par 1000000, on aura le prix d'un million d'unités de chaleur. En appliquant la même méthode à chaque combustible, on pourra dresser un tableau contenant le prix d'un million d'unités de chaleur obtenues avec chacun d'eux; ce qui suffit pour la comparaison.

Le quintal de houille de première qualité produit 352500 unités de chaleur, et un quintal de bois 183300. A Paris, le quintal de houille coûte 2 fr. 50 c., ce qui donne pour le prix de un million d'unités de chaleur, un million de fois 2 fr. 50 c., divisé par 352500, ou : . . . . . 7 fr. 09 c.
Le quintal de bois coûte 2 fr., ce qui porte le prix d'un million d'unités de chaleur à un million de fois 2 fr., divisé par 183300, ou : . . . . . 10 fr. 91 c.
On voit qu'à Paris il y a un avantage considérable à employer la houille; cependant, dans les pays où le bois est à bon marché, ce peut être le contraire. Il est facile d'ailleurs de calculer quel rapport doit exister entre le prix d'un quintal de houille et celui d'un quintal de bois, pour que ces deux combustibles présentent autant d'avantage l'un que l'autre. Ces prix doivent être proportionnels aux quantités

de chaleur que produit la combustion de ces matières, c'est-à-dire, qu'on doit avoir :

$$P : P' :: Q : Q'$$

P′ et Q′ désignant pour le bois les mêmes quantités que P et Q pour la houille ; et mettant à la place de Q sa valeur 352500, et à la place de Q′ sa valeur 183300, divisant ensuite les deux termes du dernier rapport par 100:

$$P : P' :: 3525 : 1833$$

d'où on conclut qu'il faut que la houille ait un prix presque double de celui du bois, ces deux matières étant prises à poids égaux. Si le rapport est plus grand, l'avantage sera du côté du bois ; s'il est plus petit, l'avantage sera du côté de la houille.

Dans les fabriques, ces considérations sont les seules qui méritent attention; dans le chauffage des habitations, beaucoup de personnes trouvent plus agréable de voir la flamme du bois, et l'emploient, quel qu'en soit le prix.

Le choix du combustible étant fait, il reste à examiner les moyens de se débarrasser des produits de la combustion, et les moyens employés pour faire l'emploi du combustible le plus utilement possible. L'expérience prouve que les produits de la combustion sont plus denses que l'air, toutes circonstances égales d'ailleurs; mais comme ces produits sont portés à une température élevée et qu'il sont mêlés à de l'air chaud, il en résulte que dans les circonstances ordinaires leur densité est au contraire beaucoup moindre que celle de l'air atmosphérique ; de là vient que quand on fait du feu en plein air, les produits de la combustion s'élèvent rapidement : ils sont dans le même cas qu'une goutte d'huile placée au fond d'un vase rempli d'eau, et qui s'élève à la surface, parce que l'eau étant plus dense tend à en occuper le fond. Lorsque le feu est placé sous un conduit, comme le canal d'une cheminée, l'ascension de la fumée est encore plus facile, parce qu'une fois arrivée dans le tuyau, elle ne se mélange pas en montant

avec de l'air qui en la refroidissant augmente sa densité et diminue sa force d'ascension; cependant il n'arrive encore que trop fréquemment qu'au lieu de suivre le chemin qu'on lui a tracé, elle se précipite dans la chambre et incommode les personnes qui s'y trouvent. Comme cet inconvénient est grave, il faut d'abord étudier les moyens de s'en garantir; il est nécessaire de les connaître avant de rechercher quelles sont les constructions les plus convenables, parce que ces constructions doivent surtout être dirigées dans le but de transporter hors des appartemens tous les produits de la combustion.

Franklin reconnaissait neuf causes qui peuvent faire fumer les cheminées, et qu'on doit soigneusement éviter toutes les fois qu'on le peut : il les expose, avec les moyens d'y remédier, dans une lettre à Ingenhouss, dont nous allons donner un extrait :

« 1°. *Les cheminées ne fument souvent, dans une maison neuve, que par un simple défaut d'air.* La structure des chambres étant bien achevée, et sortant des mains de l'ouvrier, les jointures du parquet, de toutes les boiseries et des lambris sont très-justes et serrées, et d'autant plus peut-être que les murs n'étant pas desséchés, fournissent de l'humidité à l'air de la chambre, ce qui tient les boiseries gonflées et bien closes; les portes et les châssis des fenêtres étant travaillés avec soin, et fermés avec exactitude, font que la chambre est aussi close qu'une boîte, et qu'il ne reste aucun passage à l'air pour entrer, excepté le trou de la serrure, qui, quelquefois même, est recouvert et comme fermé.

» Maintenant, si la fumée ne peut s'élever qu'en se combinant avec l'air raréfié, et si une colonne pareille d'air, qu'on suppose remplir le tuyau de la cheminée, ne peut monter, à moins que d'autre air ne vienne reprendre sa place, et si, par conséquent, un courant d'air ne peut point entrer dans l'ouverture de la cheminée, rien n'empêche la fumée de se répandre dans la chambre. Si l'on observe

l'ascension de l'air dans une cheminée qui en est bien fournie, par l'élévation de la fumée, ou par une plume qu'on ferait monter avec la fumée ; et si l'on considère que dans le même temps qu'une pareille plume s'élève depuis le foyer jusqu'à l'extrémité de la cheminée, une colonne d'air, égale à celle qui est contenue dans le tuyau, doit s'échapper par la cheminée, et qu'une égale quantité d'air doit lui être fournie d'en bas par la chambre, il paraîtra absolument impossible que cette opération ait lieu si une chambre bien close reste fermée ; car s'il existait une force capable de tirer constamment autant d'air de cette chambre, elle serait bientôt épuisée, de même que la cloche d'une pompe pneumatique, et aucun animal ne pourrait y vivre.

» Ceux, par conséquent, qui bouchent toutes les fentes dans une chambre pour empêcher l'admission de l'air extérieur, et qui désirent cependant que leurs cheminées portent en haut la fumée, demandent des choses contradictoires et en attendent l'impossible. C'est cependant dans cette position que j'ai vu le possesseur d'une maison neuve, désespéré et prêt à la vendre à un prix bien au-dessous de sa valeur, la regardant comme inhabitable, parce qu'aucune cheminée de ses chambres ne transmettait la fumée au-dehors, à moins qu'on ne laissât la porte ou la croisée ouverte.

» *Remède.* — Quand vous trouverez, par l'expérience, que l'ouverture de la porte ou d'une fenêtre rend la cheminée propre à faire monter la fumée, soyez sûr que le défaut d'air extérieur était la cause qu'elle fumait ; je dis l'*air extérieur*, pour vous tenir en garde contre l'erreur de ceux qui vous disent que la chambre est vaste, qu'elle contient une quantité d'air suffisante pour en fournir à une cheminée, et qu'il n'est pas possible conséquemment que la cheminée manque d'air. Ceux qui raisonnent ainsi ignorent que la grandeur de la chambre, si elle est bien close, est, dans ce cas-là, peu importante, puisqu'il n'est pas possible que cette chambre puisse perdre une masse d'air égale à celle que la cheminée contient, sans y occasionner autant

de vide ; ce qui demanderait une grande force pour le produire : d'ailleurs, on ne peut pas vivre dans une chambre où un tel vide existerait par une perte continuelle de tant d'air.

» Comme il est donc évident qu'une certaine portion d'air extérieur doit être introduite, la question se réduit à connaître la quantité qui est absolument nécessaire ; car on veut éviter d'en admettre plus qu'il n'en faut, comme étant contraire à l'intention qu'on se propose en faisant du feu, c'est-à-dire d'échauffer la chambre. Pour découvrir cette quantité, fermez la porte par dégrés, pendant qu'on entretient un feu modéré, jusqu'à ce que vous aperceviez, avant qu'elle soit entièrement fermée, que la fumée commence à se répandre dans la chambre ; ouvrez alors un peu, jusqu'à ce que vous remarquiez que la fumée ne se répand plus ; tenez ainsi la porte, et observez l'étendue de l'intervalle ouvert entre le bord de la porte et le jambage : supposons que la distance soit d'un demi-pouce, et que la porte ait 8 pieds de hauteur, vous trouverez alors que votre chambre demande un supplément d'air égal à 96 demi-pouces, c'est-à-dire à 48 pouces carrés, ou à un passage de 8 pouces de long sur 6 pouces de large. La supposition est un peu forte, parce qu'il y a peu de cheminées qui, ayant une ouverture modérée et une certaine hauteur de tuyau, demanderaient plus de la moitié de l'ouverture supposée : effectivement j'ai observé qu'un carré de six pouces, ou 36 pouces carrés, est un milieu assez juste qui peut servir pour la plupart des cheminées.

» Les tuyaux fort longs ou fort élevés, et qui ont des ouvertures petites et basses, peuvent à la vérité être fournis suffisamment d'air à travers une ouverture moins grande, parce que, par des raisons que j'exposerai ci-après, la force de légèreté, si l'on peut parler ainsi, étant plus grande dans de pareils tuyaux, l'air froid entre dans la chambre avec une plus grande vîtesse, et par conséquent il en entre plus dans le même temps. Cela a cependant ses limites, car

l'expérience montre qu'aucun accroissement de vîtesse ainsi occasionné, ne peut rendre l'introduction de l'air, à travers le trou de la serrure, égale en quantité à celle que produit une porte ouverte, quoique le courant d'air qui entre par la porte soit lent, et au contraire très-rapide à travers le trou de la serrure.

» Il reste maintenant à considérer comment et quand cette quantité d'air extérieur doit être introduite de manière à produire le moins d'inconvéniens ; car si on laisse entrer l'air par la porte ouverte, il se porte de là directement vers la cheminée, et on éprouve le froid au dos et aux talons, tant qu'on reste assis devant le feu. Si vous tenez la porte fermée, et que vous ouvriez un peu votre fenêtre, vous éprouverez le même inconvénient. On a imaginé diverses inventions pour remédier à cet inconvénient ; par exemple, on a introduit l'air extérieur à travers des canaux conduits dans les jambages de la cheminée. L'orifice de ces canaux étant dirigé en haut, on s'est imaginé que l'air emmené par ces tuyaux étant dirigé vers le haut, doit forcer la fumée à monter dans le tuyau de la cheminée. On a aussi pratiqué des passages pour l'air dans la partie supérieure du tuyau de la cheminée, pour y introduire l'air dans la même vue; mais ces moyens produisent un effet contraire à celui qu'on s'est proposé : car comme c'est le courant d'air qui passe de la chambre à travers l'ouverture de la cheminée dans son tuyau, qui empêche la fumée de se répandre dans la chambre, si vous fournissez au tuyau, par d'autres moyens ou d'une autre manière, l'air dont il a besoin, et surtout si cet air est froid, vous diminuez la force de ce courant, et la fumée, en faisant effort pour entrer dans la chambre, trouve moins de résistance.

» L'air qui manque doit donc être introduit dans la chambre même, pour prendre la place de celui qui s'échappe par l'ouverture de la cheminée. Gauger, auteur très-ingénieux et très-intelligent, qui a écrit sur cet objet, propose avec discernement de l'introduire au-dessus de l'ouverture de la chemi-

née; et pour prévenir l'inconvénient du froid, il conseille de le faire parvenir dans la chambre à travers les cavités tournantes pratiquées derrière la plaque de fer qui fait le dos de la cheminée et les côtés du foyer, et même sous l'âtre; il s'échauffera en passant sous ces cavités, et étant introduit dans cet état, il échauffera la chambre au lieu de la refroidir. Cette invention est excellente en elle-même, et peut être employée avec avantage dans la construction des maisons neuves, parce que ces cheminées peuvent être disposées de manière à faire entrer convenablement l'air froid dans de pareils passages; mais dans les maisons qu'on a bâties sans se proposer de telles vues, les cheminées sont souvent situées de manière qu'on ne pourrait leur procurer cette commodité sans y faire des changemens considérables et dispendieux : les méthodes aisées et peu coûteuses, quoique moins parfaites en elles-mêmes, sont d'une utilité plus générale; telles sont les suivantes :

» Dans les chambres où il y a eu du feu, la portion d'air qui est raréfiée devant la cheminée change continuellement de lieu, et fait place à d'autre air qui doit être échauffé à son tour; une partie entre et monte par la cheminée, le reste s'élève et va se placer près du plafond. Si la chambre est élevée, cet air chaud reste au-dessus de nos têtes, et il nous est peu utile, parce qu'il ne descend pas avant qu'il ne soit considérablement refroidi.

» Peu de personnes pourraient s'imaginer la grande différence de température qu'il y a entre les parties supérieures et inférieures d'une pareille chambre, à moins de l'avoir éprouvé par le thermomètre, ou d'être monté sur une échelle, jusqu'à ce que la tête soit près du plafond. C'est donc dans cet air chaud que la quantité d'air extérieur qui manque doit être introduite, parce que, en s'y mêlant, la froideur est diminuée, et l'inconvénient qui en résulte devient à peine sensible.

» 2° Une seconde cause qui fait fumer les cheminées, *est leur trop grande embouchure dans les chambres;* cette embouchure peut être trop large, trop haute, ou avoir ces deux défauts

à la fois. Les architectes, en général, n'ont pas d'autres idées des proportions de l'embouchure d'une cheminée, que celle qui se rapporte à la symétrie et à la beauté, relativement aux dimensions de la chambre; pendant que les vraies proportions, relativement à ses fonctions et son utilité, dépendent de principes tout-à-fait différens; et cette proportion des architectes n'est pas plus raisonnable que ne le serait la dimension des dégrés ou des marches d'un escalier, prise selon la hauteur d'un appartement, plutôt que selon l'élévation naturelle des jambes d'un homme qui marche ou qui monte. La vraie dimension de l'ouverture d'une cheminée, doit donc être en rapport avec la hauteur du tuyau; et comme les tuyaux, dans différens étages d'une maison, sont nécessairement de diverses hauteurs ou longueur, celui de l'étage d'en bas est le plus haut et le plus long, et ceux des autres étages sont en proportion plus courts, de façon que celui du grenier se trouve le moindre de tous. Comme la force d'attraction est en raison de la hauteur du tuyau rempli d'air raréfié, et comme le courant d'air qui entre de la chambre dans la cheminée doit être assez considérable pour remplir constamment l'embouchure, afin de pouvoir s'opposer au retour de la fumée dans la chambre, il s'ensuit que l'embouchure des tuyaux les plus longs peut être plus étendue, et que celle des tuyaux plus courts doit être aussi plus petite; car si une cheminée qui ne tire pas fortement a une ouverture large, il peut arriver que le tuyau reçoive l'air qui lui est nécessaire par un des côtés de cette embouchure, qui admet un courant particulier d'air, pendant que l'autre côté de l'embouchure étant destitué d'un courant semblable, peut permettre à la fumée de se répandre dans la chambre.

» Une grande partie de la force d'attraction dans le tuyau dépend aussi du dégré de raréfaction de l'air qu'il contient: et cette raréfaction dépend elle-même de ce que le courant d'air prend son passage à son entrée dans le tuyau le plus près du feu. Si ce courant, à son entrée, est éloigné du feu, c'est-à-dire, s'il entre des deux côtés de l'embouchure lors-

qu'elle est fort large, ou s'il passe au-dessus du feu lorsque la cheminée est fort haute, il s'échauffe peu dans son passage, et par conséquent l'air contenu dans le tuyau ne peut différer que peu en raréfaction de l'air atmosphérique qui l'environne, et sa force d'attraction, c'est-à-dire la force avec laquelle il entraîne la fumée, est par conséquent d'autant plus faible; de là vient que si l'on donne une embouchure trop grande aux cheminées des chambres des étages supérieurs, ces cheminées fument; d'un autre côté, si on donne une petite embouchure aux cheminées des étages inférieurs, l'air qui entre agit trop directement et trop violemment, et en augmentant ensuite l'attraction et le courant qui montent dans le tuyau, la matière combustible se consume trop rapidement.

» *Remède* (1). — Comme différentes circonstances se combinent souvent avec ces objets, il est difficile d'assigner les dimensions précises des embouchures de toutes les cheminées. Nos ancêtres, en général, les faisaient beaucoup trop grandes; nous les avons diminuées, mais elles sont souvent encore d'une plus grande dimension qu'elles ne devraient l'être; car l'homme se refuse facilement à des changemens trop grands et trop brusques.

» Si vous soupçonnez que votre cheminée fume par la trop grande dimension de son ouverture, resserrez-la en y plaçant des planches mobiles, de manière à la rendre par dégrés plus basse et plus étroite, jusqu'à ce que vous remarquiez que la fumée ne se répand plus dans la chambre. La proportion

---

(1) Le prolongement vers le bas du soubassement pour une planche de plâtre *ef* (*fig.* 62), soutenue au moyen d'une barre de fer scellée par ses deux extrémités dans les jambages de la cheminée, et le rétrecissement dans le sens horisontal, d'après le tracé de Rumford (*fig.* 51 et 61), sont des moyens peu dispendieux et souvent efficaces. Quant aux dimensions de l'ouverture du tuyau de la cheminée, il est plus convenable de ne point les fixer; une trappe à bascule EC (*fig.* 61), offre plus d'avantage, elle permet de régler à chaque instant le tirage à volonté en tournant une petite manivelle qui la fait mouvoir, et qu'on peut placer à côté de la cheminée.

qu'on trouvera ainsi, sera celle qui est convenable pour la cheminée, et vous pourrez ainsi la faire rétrecir par le maçon; cependant, comme, en bâtissant les maisons neuves, on doit hasarder quelques tentatives, je ferais faire des embouchures, dans les chambres d'en bas, d'environ 30 pouces carrés et de 18 pouces de pouces de profondeur; je diminuerais l'ouverture des cheminées intermédiaires, en proportion de la diminution de la longueur des tuyaux.

» Il faut que toutes les cheminées aient presque la même profondeur, leurs tuyaux devant presque toujours être d'un volume propre à laisser entrer un ramoneur (1).

» Si dans les chambres grandes et élégantes, la coutume ou l'imagination demande l'apparence d'une cheminée plus grande, on pourrait lui donner cette grandeur apparente, par des décorations extérieures en marbre, etc.

» 3° Une troisième cause qui fait fumer les cheminées, est un *tuyau trop court*. Cela arrive nécessairement dans quelques cas, comme quand on construit une cheminée dans un édifice peu élevé; car si alors on élève le tuyau beaucoup au-dessus du toit, pour que la cheminée tire bien, il est alors en danger d'être renversé par le vent, et d'écraser le toit par sa chute.

» *Remède.* — Resserrez l'embouchure de la cheminée de manière à forcer tout l'air qui entre à passer à travers ou tout près du feu; par là, il sera plus échauffé et raréfié : le tuyau lui-même sera plus échauffé, et l'air qu'il contiendra aura plus de ce qu'on appelle *force de légèreté*, c'est-à-dire que l'air y montera avec force, et maintiendra une forte attraction à l'embouchure.

» Le cas d'un tuyau trop court est plus général qu'on ne se l'imaginerait, et souvent il existe où on ne devrait pas s'y

(1) Cela n'est plus d'indispensable nécessité à Lyon et dans beaucoup d'autres villes, où l'on construit des tuyaux de cheminées beaucoup plus petits que ceux que prescrivent les anciens réglemens, on les ramone à l'aide d'un fagot.

attendre; car il n'est point extraordinaire, dans des édifices mal bâtis, qu'au lieu d'avoir un tuyau pour chaque chambre ou foyer, on plie et l'on incline le tuyau de la cheminée d'une chambre d'en haut, de manière à le faire entrer par le côté dans un tuyau qui vient d'en bas. Par ce moyen, le tuyau de la chambre d'en haut est moins long dans son cours, puisque l'on ne doit compter sa longueur que jusqu'à sa terminaison dans le tuyau qui vient d'une chambre d'en bas. Le tuyau qui vient d'en bas doit aussi être considéré comme étant abrégé de toute la distance qui est entre l'entrée du second tuyau et l'extrémité des deux réunis; car toute la partie du second tuyau qui est déjà fournie d'air, n'ajoute point de force à l'attraction, surtout quand cet air est froid, parce qu'on n'a point fait de feu dans la seconde cheminée. Le seul remède aisé est de tenir alors fermée l'ouverture du tuyau dans lequel il n'y a point de feu (1).

» 4° Une quatrième cause, très-ordinaire, qui fait fumer les cheminées, est *qu'elles se contrebalancent les unes les autres*, ou plutôt qu'une cheminée a une supériorité de force par rapport à une autre construite soit dans la même pièce, soit dans une pièce voisine; par exemple, s'il y a deux cheminées dans une grande chambre, et que vous fassiez du feu dans les deux, les portes et les fenêtres étant bien fermées, vous trouverez que le feu le plus considérable et le plus fort, vaincra le plus faible et attirera l'air dans son tuyau pour fournir à son propre besoin; et cet air, en descendant dans le tuyau du feu le plus faible, entraînera en bas la fumée et la forcera de se répandre dans la chambre. Si, au lieu d'être dans une seule chambre, les deux cheminées sont dans deux chambres différentes qui communiquent par une porte, le cas est le même pendant que cette porte est ouverte. Dans une maison bien close, j'ai vu la cheminée d'une cuisine d'un étage inférieur contrebalancer, quand il y avait grand

(1) Ceci peut se faire avec une trappe à bascule placée dans l'intérieur de la cheminée.

feu, toutes les autres cheminées de la maison, et tirer l'air et la fumée dans les chambres, aussi souvent qu'une porte qui communiquait à l'escalier était ouverte.

» *Remède.* — Ayez soin que chaque chambre ait les moyens de fournir elle-même, du dehors, toute la quantité d'air que la cheminée peut demander; en sorte qu'aucune d'elles ne soit obligée d'emprunter de l'air d'une autre, ni dans la nécessité d'en envoyer.

» 5°. Une cinquième cause qui fait fumer les cheminées, c'est quand le sommet de leur tuyau est *dominé par des édifices plus hauts ou par des éminences*, de sorte que le vent, en soufflant sur de pareilles éminences, tombe, comme l'eau qui surpasse une digue, quelquefois presque verticalement, sur le sommet des cheminées qui se trouvent dans son passage, et refoule la fumée que le tuyau contient.

» *Remède.* — On emploie ordinairement, dans ce cas, *un tournant* ou *gueule de loup* (1) qui recouvre la cheminée au-dessus et aux trois côtés, et qui est couvert d'un côté; il tourne sur un pivot, et, étant dirigé et gouverné par une aile, il présente toujours le dos au vent courant. Je crois qu'un tel moyen est en général utile, quoiqu'il ne soit pas toujours certain, car il peut y avoir des cas où il est sans effet. Il est plus certain d'élever ou d'allonger, si on le peut, les tuyaux de cheminées, de manière que leurs sommets soient plus hauts, ou au moins d'une hauteur égale à l'éminence qui les domine. Comme un *tournant* ou *gueule de loup* est plus aisé à pratiquer et moins coûteux, on peut l'essayer premièrement. Si j'étais obligé de bâtir dans une semblable situation, j'aimerais mieux placer les portes du côté voisin de l'éminence, et le dos de la cheminée

(1) Un tournant ou gueule de loup est un tuyau coudé *(fig. 48)*, dont la partie horizontale D est surmontée d'une feuille de tôle E; cet appareil est dirigé par le vent comme une girouette, et prend toujours une position telle que la fumée sort dans la même direction que le vent qui l'emporte, loin de mettre obstacle à sa sortie.

du côté opposé ; car alors la colonne d'air qui tomberait du haut de l'éminence presserait l'air d'en bas dans l'embouchure des cheminées, en entrant par les portes ou par des ventouses de ce côté, et tendrait ainsi à contre-balancer la pression qui se fait de haut en bas dans ces cheminées, dont les tuyaux seraient alors plus libres dans l'exercice de leurs fonctions.

» 6°. Il y a une sixième cause qui fait fumer certaines cheminées, et qui est l'inverse de la dernière mentionnée ; *c'est lorsque l'éminence qui domine le vent est placée au-delà de la cheminée.* Supposons un bâtiment dont l'un des côtés soit exposé au vent et forme une espèce de digue contre son cours ; l'air, retenu par cette digue, doit exercer contre elle, de même que l'eau, une pression, et chercher à se frayer un passage ; et trouvant le sommet de la cheminée au-dessous de celui de la digue, il se précipitera avec force dans son tuyau pour s'échapper par quelques portes ou quelques fenêtres ouvertes de l'autre côté du bâtiment ; et s'il y a du feu dans une pareille cheminée, la fumée sera repoussée en bas et remplira la chambre.

» *Remède.* — Je n'en connais qu'un, qui est d'élever le tuyau plus haut que le toit, et de l'étayer, s'il est nécessaire, avec des barres de fer ; car une gueule de loup, dans ce cas, n'a point d'effet, attendu que l'air qui est refoulé pèse par en bas, et s'insinue dans la cheminée, dans quelque position que son ouverture se trouve placée.

» J'ai vu une ville dans laquelle plusieurs maisons étaient exposées à la fumée par cette raison ; car les cuisines étaient bâties par derrière, et jointes, par un passage, avec les maisons ; et les sommets des cheminées de ces cuisines étant plus bas que les sommets des maisons, tout le côté de la rue, quand le vent souffle contre leur dos, forme l'espèce de digue dont nous avons parlé ; et le vent étant ainsi arrêté, se fraie un chemin dans ces cheminées (surtout quand elles ne contiennent qu'un feu faible), pour passer à travers la maison dans la rue. Les cheminées des cuisines

ainsi fermées et disposées, ont un autre inconvénient : si, en été, vous ouvrez les fenêtres d'une chambre supérieure pour y renouveler l'air, un léger souffle de vent, qui passe sur la cheminée de vos cuisines, du côté de la maison, quoique pas assez fort pour refouler la fumée en bas, suffit pour l'amener vers vos fenêtres, et pour en remplir la chambre; ce qui, outre ce désagrément, dégrade les meubles.

» 7°. La septième cause comprend les cheminées qui, quoique bien conditionnées, fument cependant à cause *de la situation peu convenable d'une porte.* Quand la porte et la cheminée sont du même côté de la chambre; si la porte, étant dans le coin, s'ouvre contre le mur, ce qui est ordinaire, comme étant alors, lorsqu'elle est ouverte, moins embarrassante, il s'ensuit que lorsqu'elle est seulement ouverte en partie, un courant d'air se porte le long du mur de la cheminée, et, en outre-passant la cheminée, entraîne une partie de la fumée dans la chambre. Cela arrive encore plus certainement dans le moment où l'on ferme la porte; car alors la force du courant est augmentée, et devient très-incommode à ceux qui, en se chauffant auprès du feu, se trouvent assis dans la direction de son cours.

» *Remèdes.* Dans ce cas, les remèdes sautent aux yeux et sont faciles à exécuter : ou bien mettez un paravent intermédiaire appuyé d'un côté contre le mur, et qui enveloppe une grande partie du lieu où l'on se chauffe; ou, ce qui est préférable, changez les gonds de votre porte, de sorte qu'elle s'ouvre dans un autre sens, et que, quand elle est ouverte, elle dirige l'air le long de l'autre mur.

» 8°. Une huitième cause est celle d'une chambre où on ne fait pas habituellement du feu, et qui se trouve quelquefois *remplie de la fumée qu'elle reçoit au sommet de son tuyau, et qui descend dans la chambre.* Quoiqu'il ait déjà été question des courans d'air qui descendent dans des tuyaux froids, il n'est pas hors de propos de répéter ici que les tuyaux de cheminées, sans feu, ont un effet différent

sur l'air qui s'y trouve, suivant leur dégré de froid ou de chaleur. L'atmosphère, ou l'air ouvert, change souvent de température; mais des rangées de cheminées, à couvert des vents et du soleil par la maison qui les contient, retiennent une température plus uniforme. Si, après un temps chaud, l'air intérieur devient tout à coup froid, les tuyaux chauds et vides commencent d'abord à tirer fortement en haut, c'est-à-dire qu'ils raréfient l'air qu'ils contiennent en l'échauffant; il en résulte que cet air monte, et qu'un autre plus froid entre en bas pour prendre sa place; celui-ci est raréfié à son tour, il s'élève, et ce mouvement continue jusqu'à ce que le tuyau devienne plus froid, ou l'air extérieur plus chaud; ou si les deux ensemble ont lieu, alors ce mouvement cesse. D'un autre côté, si, après un temps froid, l'air extérieur s'échauffe brusquement et devient ainsi plus léger, l'air qui est contenu dans les tuyaux froids, étant alors plus pesant, descend dans la chambre, et l'air plus chaud qui entre dans leur sommet se refroidit à son tour, devient plus pesant, et continue à descendre; et ce mouvement continue jusqu'à ce que les tuyaux soient échauffés par le passage de l'air chaud qui les traverse, ou que l'air extérieur lui-même soit devenu plus froid. Quand la température de l'air et du tuyau de la cheminée est à peu près égale; la différence de chaleur dans l'air, entre la nuit et le jour, est suffisante pour produire ces courans; l'air commencera à monter dans les tuyaux à mesure que le froid du soir surviendra, et ce courant continuera jusqu'à peut-être neuf à dix heures du matin suivant. Lorsque ce courant commence à balancer, et à mesure que la chaleur du jour augmente, ce courant se dirige du haut en bas et continue jusque vers le soir, et alors il est de nouveau suspendu pour quelque temps; mais bientôt il commence à monter de nouveau pour toute la nuit, comme je viens de le dire. Maintenant, s'il arrive que la fumée, en sortant des tuyaux voisins, passe au-dessus des sommets des tuyaux qui tirent dans ce temps vers le bas, comme cela a souvent lieu vers midi, une telle fumée est néces-

sairement entraînée dans ces tuyaux, et descend avec l'air dans la chambre.

» Le *remède* est de fermer parfaitement le tuyau de la cheminée, par le moyen d'une trappe à bascule.

» 9°. Enfin, la neuvième cause a lieu dans les cheminées qui tirent également bien, et qui donnent cependant quelquefois de la fumée dans les chambres, celle-ci *étant entraînée en bas par des vents violens qui passent sur le sommet de leurs tuyaux*, quoiqu'ils ne descendent d'aucune éminence qui domine. Ce cas est le plus fréquent, lorsque le tuyau est court et que son ouverture est détournée du vent; et il est encore plus désagréable quand cela arrive par un vent froid, parce que, quand vous avez le plus besoin de feu, vous êtes obligé de l'éteindre. Pour comprendre ce phénomène, il faut considérer que l'air léger, en s'élevant pour obtenir une libre issue par le tuyau, doit pousser devant lui et obliger l'air qui est au-dessus à s'élever : dans un temps calme ou de peu de vent, cela est très-manifeste; car alors vous voyez que la fumée est entraînée en haut par l'air qui s'élève en colonne au-dessus de la cheminée; mais quand un courant d'air violent, c'est-à-dire un vent fort, passe au-dessus du sommet de la cheminée, ses particules ont reçu tant de force, qu'elles se tiennent dans une direction horizontale, et se suivent les unes les autres avec tant de rapidité, que l'air léger qui monte dans le tuyau n'a pas assez de force pour les obliger à quitter cette direction et à se mouvoir vers le haut, pour permettre une issue à l'air de la cheminée. Ajoutez à cela que le courant d'air, en passant au-dessus du tuyau qu'il rencontre d'abord, ayant été comprimé par la résistance du tuyau, peut s'étendre lui-même sur l'ouverture du tuyau, et aller frapper le côté intérieur opposé, d'où il est réfléchi par le bas d'un côté à l'autre.

» *Remède.* — Dans quelques endroits, et particulièrement à Venise, où il n'y a point de rangées de cheminées, mais de simples tuyaux, la coutume est d'élargir le sommet de

ce conduit, en lui donnant la forme d'un entonnoir arrondi. Quelques-uns croient que cette forme peut empêcher l'effet dont je viens de parler, parce que l'air, en soufflant au-dessus d'un des bords de cet entonnoir, peut être dirigé ou réfléchi obliquement vers le haut, et sortir ainsi par l'autre côté en raison de cette forme : je n'en ai point fait l'expérience ; mais j'ai vécu dans un pays très-sujet aux vents, où l'on pratique tout le contraire, les sommets des tuyaux étant rétrécis en haut de manière à former, pour l'issue de la fumée, une fente aussi longue que la largeur du tuyau, et seulement large de 4 pouces. Cette forme semble avoir été imaginée dans la supposition que l'entrée du vent serait par là empêchée ; peut-être s'est-on imaginé que la force de l'air chaud qui s'élève, étant d'une certaine façon condensée dans une ouverture étroite, pourrait être par là augmentée de manière à vaincre la résistance du vent. Ceci n'arrivait cependant pas toujours ; car, quand le vent était au nord-est, et que son souffle était frais, la fumée était précipitée par bonds dans la chambre que j'occupais ordinairement, de manière à m'obliger de transporter le feu dans une autre : la position de la fente de ce tuyau était, à la vérité, nord-est et sud-ouest ; si elle avait été dirigée en travers, par rapport à ce vent, son effet aurait été peut-être différent ; mais je ne puis rien assurer sur cet objet. Ce sujet mérite bien qu'on le soumette à l'expérience : peut-être qu'un tournant ou *gueule de loup* aurait été avantageux ; mais on ne l'a point essayé (1). »

---

(1) On peut, dans ce cas, surmonter le tuyau d'un appareil en tôle qu'on voit représenté *fig.* 50 ; c'est un double chapeau qui réfléchit les vents horizontaux de quelque côté qu'ils viennent, et leur fait prendre une direction à-peu-près verticale : il en résulte que l'air du tuyau est aspiré, et la force du vent se trouve ainsi mise à profit pour augmenter le tirage. On peut se convaincre de ce fait en dirigeant sur l'appareil de la fig. 49 le vent d'un soufflet *s*, la flamme d'une chandelle placée convenablement indique aussitôt l'établissement d'un courant, en se portant vers l'ouverture A. B *(fig.* 50*)* est un disque de tôle qui

Cheminées. On a varié de mille manières la construction des appareils employés pour le chauffage, et plusieurs volumes seraient nécessaires pour exposer tout ce qui a été écrit ou fait touchant cet objet; nous nous bornerons à décrire quelques appareils pris parmi ceux dont l'usage a fait reconnaître les bons effets, en choisissant de préférence ceux dans lesquels les principes les plus importans se trouvent appliqués avec succès.

Cheminée de Franklin. Franklin a imaginé un appareil dont la construction repose en partie sur le principe établi par Gauger (voyez pag. 148). Il se compose d'une caisse *erzi* (*fig.* 52, pl. 4), dont le devant manque, afin qu'on puisse voir le feu, et dont le fond présente dans sa partie inférieure en *y* une ouverture rectangulaire, et ayant sa longueur placée horizontalement. On introduit cette caisse dans une cheminée ordinaire, de manière à laisser entre elle et le fond de la cheminée un espace de 3 ou 4 pouces; puis on place dans l'intérieur de cette caisse une double plaque *a' b' c' d'* aussi en fonte, à une distance de 3 ou 4 pouces du fond. La *fig.* 53 en représente une coupe suivant la largeur de la cheminée; elle fait voir les petites cloisons qu'on y a pratiquées. L'ouverture *t* communique avec l'extérieur, et l'ouverture *u* est munie d'un tuyau qui vient s'ouvrir vers l'un des jambages de la cheminée. Cette double plaque sert de contre-cœur; lorsqu'on allume le feu, les gaz chauffés montent d'abord, puis descendent derrière le réservoir, et remontent dans le canal de la cheminée par lequel ils sortent. On voit que, dans ce mouvement, ils

---

empêche la pluie de tomber dans la cheminée et qui a eu outre l'avantage de s'opposer à l'action du soleil sur les parois intérieures du tuyau de la cheminée. Cette action fait souvent fumer les cheminées, parce qu'elle échauffe les parties sur lesquelles elle s'exerce, ces parties échauffent l'air qui les touche et le forcent à s'élever rapidement: de l'air extérieur descend alors pour le remplacer, et refoule la fumée dans l'appartement.

enveloppent le réservoir *abcd*, et le portent à une température élevée ; l'air qui s'y trouve contenu sort par l'ouverture supérieure *u*, en vertu de sa force de légèreté, et se répand chaud dans l'appartement : de l'air froid provenant de l'extérieur s'introduit par l'ouverture inférieure *t* pour le remplacer, s'échauffe en parcourant, comme l'indiquent les flèches, les compartimens du réservoir, et passe ensuite dans la chambre, qui reçoit ainsi un courant continu d'air à une température très-agréable. L'ouverture par laquelle cet air sort, se nomme une bouche de chaleur; on peut en établir une dans les cheminées ordinaires à très-peu de frais, en remplaçant la grosse bûche qu'on place au fond du foyer par une pièce en fonte, dont l'intérieur sera creux, et communiquera au moyen de deux tuyaux, d'une part avec l'extérieur ou avec une partie froide de la chambre, et de l'autre avec une ouverture pratiquée dans l'un des jambages de la cheminée plus haut que le foyer, et destinée à faire l'office de bouche de chaleur.

Comme les cheminées de Franklin sont ordinairement moins élevées que les cheminées ordinaires; pour intercepter toute communication entre l'appartement et le tuyau de la cheminée, il faut joindre la plaque supérieure *rz* de la caisse avec la tablette de la cheminée, par une cloison dans laquelle on laisse une grande ouverture, qu'on ferme au moyen d'une trappe à bascule *c'* qui permet l'introduction du ramoneur. Elle a d'ailleurs l'avantage, quand elle est ouverte, d'empêcher la suie de tomber dans l'espace *yz*, d'où on ne pourrait la retirer qu'en déplaçant la cheminée.

La cheminée de Franklin offre, comme on voit, de grands avantages sur les cheminées ordinaires; depuis son invention, elle a encore été perfectionnée par Désarnod et plusieurs autres. Désarnod y ajoute des réservoirs d'air sur les côtés et à la base; par là il augmente la quantité d'air chaud versé à chaque instant dans l'appartement, et prévient la prompte destruction des côtés de la caisse, qui ne peuvent plus avec cette disposition être portés à une température aussi élevée. Un registre est adapté à l'ouverture de la cheminée, et permet d'en ré-

trecir l'ouverture à volonté, et de régler ainsi le tirage; lorsqu'il est abaissé de manière à ne laisser plus qu'une petite ouverture, l'air qui pénètre dans la cheminée, passant en totalité sur les charbons, arrive dans le tuyau sans se mélanger avec de l'air froid, et le tirage est alors très-énergique; on se sert de ce moyen pour allumer le feu en peu d'instans. On relève ensuite le registre, tant pour voir le feu que pour diminuer le tirage, qui occasionnerait sans cela une grande dépense de combustible (1).

Désarnod place sa cheminée autant que possible dans la chambre, et fait parvenir les produits de la combustion dans le tuyau d'une cheminée ordinaire par deux tuyaux en métal; pendant ce trajet ils se refroidissent par l'action de l'air de l'appartement qui s'échauffe en même temps, et la perte de chaleur qui résulte de ce que les produits de la combustion sont portés à l'extérieur à une température élevée, se trouve ainsi diminuée. On brûle dans cette cheminée trois fois moins de combustible que dans une cheminée ordinaire pour produire le même effet.

Poêles. Les poêles sont des appareils plus parfaits que les cheminées sous le rapport économique; mais ils leur sont inférieurs en ce qu'ils ne laissent pas voir le feu, et sous le rapport de la salubrité; toutefois nous croyons qu'on a beaucoup exagéré l'insalubrité des poêles, et qu'on peut s'en servir sans éprouver d'incommodité, en ayant soin de ne pas porter la température de l'appartement à un dégré trop élevé, et d'adapter au poêle un vase contenant de l'eau (2), afin d'empêcher le

(1) De pareils registres peuvent être adaptés à toutes les cheminées, en les abaissant totalement, on peut les employer encore à éteindre le feu. Le registre est la seule pièce qui distingue les cheminées à la prussienne des cheminées ordinaires; elles n'ont outre cela que l'avantage d'être construites dans de meilleures proportions.

(2) Ce vase peut être formé au moyen d'un cylindre concentrique avec le tuyau du poêle, et réuni à ce tuyau par sa base; l'eau occupe l'espace compris entre le tuyau et le cylindre, et y est constamment entretenue en ébullition.

desséchement de l'air. Quand le poêle est en fer, il donne d'abord un peu d'odeur, et son usage peut quelquefois être nuisible; mais pourvu qu'on le maintienne bien propre (1), toute odeur disparaît au bout de quelque temps.

Les poêles peuvent, comme les cheminées, recevoir des bouches de chaleur qui tirent l'air de l'appartement ou mieux du dehors; Désarnod en a construit, d'après les mêmes principes que sa cheminée, un qui échauffe la chambre dans laquelle on le place aussi bien qu'une cheminée ordinaire, avec six fois moins de combustible. Souvent un même appareil est employé pour échauffer plusieurs pièces au moyen de bouches de chaleur ouvertes dans chacune d'elles; dans ce cas, comme le poêle doit recevoir une assez grande quantité de combustible à la fois, on fait quelquefois circuler de l'air dans un tuyau qui passe au milieu de la masse en combustion, afin d'élever davantage sa température (2). Quand les chambres sont situées les unes au-dessus des autres, on peut,

---

(1) Il est bon de les laver de temps en temps avec de la lessive de cendre.

(2) L'air froid doit être introduit d'abord dans les tuyaux ou compartimens les moins chauds, et en dernier lieu dans les tuyaux les plus chauds; un exemple fera aisément concevoir l'avantage qui en résulte: Supposons que les tuyaux les moins chauds soient à une température de 60°, que l'air extérieur soit à 0°, et qu'en passant d'abord dans le tuyau situé au milieu du combustible, il y acquière une température de 55°; pendant son trajet à travers les tuyaux à 60°, il en éprouvera peu l'influence, étant à peu près au même dégré de chaleur, et il sortira à une température inférieure à 60°. Si, au contraire, il parvient d'abord dans les tuyaux à 60°, et s'ils sont un peu longs, sa température y sera élevée peut-être de 30°, et en passant ensuite dans le tuyau qui est à la chaleur rouge, à 900° par exemple, il y recevra une augmentation de chaleur qui sera à peu peu près de 55°, comme précédemment; car l'excès de la température du tuyau sur l'air qui y entre, étant dans le premier cas de 900° et dans le second de 870°, nombres qui diffèrent peu, son influence doit être presque la même. En adoptant cette disposition, l'air serait donc versé dans l'appartement à une température de 85°, supérieure de plus de 25° à celle obtenue dans la première hypothèse.

si l'on veut, se borner à pratiquer des ouvertures dans les plafonds, et établir au rez-de-chaussée un poêle donnant beaucoup de chaleur, l'air chaud, tendant toujours à monter, s'élève dans les pièces supérieures, qu'il maintient à une température douce; cette disposition a été adoptée dans quelques établissemens d'industrie.

Nous ne donnerons pas de descriptions détaillées des différens poêles en usage, ayant plutôt pour but de faire connaître ici les principes sur lesquels ils reposent, que d'enseigner à les construire. Nous terminerons par une description du poêle fumivore de M. Thilorier, et du poêle économique de M. Bérard, afin de donner un exemple de chaque genre d'application.

Le poêle fumivore de M. Thilorier est construit, ainsi que son nom l'indique, de manière à brûler la fumée dont aucune portion ne sort de cet appareil, la *fig.* 65 en représente une coupe; des lettres en désignent les diverses parties (1).

a, corps du poêle en faïence ou en terre cuite, de forme cylindrique; il est ouvert par le haut, et terminé à sa partie inférieure par un tronc de cône creux *b*, en forme d'entonnoir.

c, grille à larges barreaux posée sur la base supérieure du tronc de cône.

d, autre grille à barreaux serrés, placée à la base inférieure du tronc de cône.

e, petite ouverture par où l'on fourgonne; on la bouche soit avec de la terre, soit avec une porte de tôle.

f, tuyau ajusté à la base inférieure du tronc de cône; sa partie inférieure est fermée par un bouchon *g*, à recouvrement, pareil au couvercle d'une tabatière, qui sert en même temps de cendrier.

---

(1) Description des machines et procédés spécifiés dans les brevets d'invention, de perfectionnement, etc., tom. 3.

h, tuyau horizontal fixé à celui *f*, et portant à son extrémité un tuyau vertical *i*, qui peut être considéré comme le tuyau du poêle ; il est fermé par le bas avec un bouchon *k*, pareil à celui *g* du tuyau *f*.

Pour allumer le poêle, on met de la braise sur la grille inférieure *d*, qu'on recouvre ensuite avec du charbon froid ; on met en même temps dans le bouchon *k* une feuille de papier légèrement chiffonnée, que l'on allume à l'instant qu'on met le bouchon : quelques charbons allumés au lieu de papier produisaient le même effet, qui est de raréfier l'air qui est dans le tuyau de la cheminée, afin d'établir le courant nécessaire à la combustion. Ces dispositions faites, on entend presque aussitôt le charbon pétiller ; et comme il brûle à flamme renversée, il n'en résulte aucune odeur désagréable dans l'appartement.

A mesure que le feu gagne le charbon de la partie supérieure, on en remet de nouveau jusqu'à ce que l'entonnoir *b* soit plein : alors on place la grille supérieure *c* ; on met par-dessus une boîte de tôle *l*, ouverte par le haut, qui laisse quelques centimètres de distance entre elle et les parois intérieures du corps du poêle, et qu'on remplit de morceaux de bois sec coupés à la hauteur du poêle. Aussitôt que ce bois commence à répandre des vapeurs, on ferme le haut du poêle avec un couvercle en tôle *m*, dont le rebord entre dans une gorge remplie de sablon, pratiquée sur le pourtour supérieur du corps du poêle.

Le couvercle *m* étant en place, on ouvrira une porte latérale *n*, qui sert à alimenter la combustion et à renouveler le combustible au besoin.

Le bois renfermé dans la boîte *l* se carbonise parfaitement, et fournit plus de charbon qu'il n'en faut pour recommencer une nouvelle carbonisation ; d'où il résulte qu'indépendamment de la chaleur nécessaire pour chauffer un appartement, on retire encore, du bois employé à cet effet, une quantité de charbon qu'on peut regarder comme bénéfice.

Si l'on n'a besoin que d'une chaleur modérée, on ne met dans l'entonnoir du poêle que quelques pelletées de braise; alors on ne fait point usage de la boîte *l*, mais on range deux ou trois petites bûches sur la grille. Ces bûches étant charbonnées, on fait tomber le charbon dans l'entonnoir, et on le remplace par d'autres bûches.

Si, au lieu de bûches, on n'avait que de la houille ou de la tourbe, même sous forme de poussière, on mettrait ce combustible dans la boîte *l*, qui, en se carbonisant comme le bois, donne une espèce de gâteau d'une substance charbonneuse qu'on retire, qu'on brise, et dont on pose les morceaux sur la grille supérieure où la combustion s'achève sans donner la moindre odeur.

La porte latérale *n* sert de modérateur à la combustion; par son moyen on règle à volonté la combustion, qu'on amène graduellement jusqu'à extinction totale du feu sans inconvénient, en tenant cette porte tout-à-fait fermée. Alors la chaleur concentrée dans le poêle est telle, que deux heures après l'étouffement, le poêle, fût-il même en tôle, peut être rallumé en ouvrant simplement la porte.

Dans une pièce qu'on veut échauffer sans que les poêles soient apparens, on adapte à ces poêles des tuyaux renversés comme celui du poêle de M. Thilorier; la partie horizontale peut être cachée sous le parquet, et la partie verticale placée hors de l'appartement. Un appareil de ce genre sert, si l'on veut, de piédestal à une statue, et contribue à l'ornement de la pièce dans laquelle il est placé. Afin de rendre l'illusion complète, on peut faire ouvrir la porte dans une autre pièce; l'appartement dont on veut élever la température s'échauffe d'ailleurs plus facilement au moyen de cette disposition, parce que l'air qu'il contient n'alimentant pas la combustion, se renouvelle moins vîte.

Poêle économique de M. J. B. Bérard (1). Le poêle, proprement dit, est un parallélipipède porté par quatre pieds. La capacité est divisé en deux étages d'inégale hauteur, par une cloison horizontale : l'étage inférieur est destiné à faire un four, le supérieur est occupé en partie par le foyer, et en partie par deux caisses moins hautes que cet étage : les faces latérales du poêle sont fermées par deux portes qui bouchent les entrées du four inférieur, et les deux caisses qui servent aussi de four. La façade du poêle reçoit, dans son milieu, une ou deux portes, pour fermer l'ouverture du foyer; en dessous de ces portes est une petite tablette horizontale. La face horizontale et supérieure du poêle est percée de deux trous destinés à recevoir des casseroles ou des marmites. La face verticale du derrière du poêle est percée, près de ses angles supérieurs, de deux trous, où sont adaptés deux tuyaux de fumée qui en reçoivent deux autres coudés, à angles droits, lesquels sont réunis par un troisième; du milieu de ce dernier s'élève un tuyau vertical qui, après avoir formé un angle droit, aboutit à la cheminée. Reprenons séparément chacune des parties de l'ensemble :

1°. AABBCCDD (*fig.* 66 et 67), est un parallélipipède dont l'arête AA, longueur du poêle, est de 63 centimètres; l'arête BB, sa hauteur, de 45 centimètres; l'arête AC, sa profondeur, de 30 centimètres. Les fonds supérieurs et inférieurs ont, tout au tour, un rebord ou une saillie qui excède le parallélipipède de 1 $\frac{1}{2}$ centim. C'est sur ces rebords des faces horizontales qu'ont été clouées les deux faces verticales du devant et du derrière, et la partie supérieure des faces latérales qui, à cet effet, ont été reployées à angles droits.

2°. EE est un plan horizontal ou cloison qui partage le parallélipipède en deux étages, dont l'inférieur, destiné à faire un four, a une hauteur AE de 8 centim. Cette cloison a été reployée à angle droit pour être clouée sur les faces de-

(1) Extrait d'un excellent mémoire de M. J. B. Bérard, sur le chauffage, publié par ordre du ministre de l'intérieur.

vant et de derrière, et elle porte sur ses côtés latéraux un rebord vertical EF de 4 centimètres.

3°. Au-dessus de la cloison EE, sont deux portes MM PP et NN PP qui ferment l'entrée du foyer, dont la largeur MM ou NN est de 19 centim., et la hauteur MP ou NP de 12 $\frac{1}{2}$ centim. La façade du poêle porte intérieurement, autour de l'ouverture des deux portes, un rebord ou une battue qui sert à la fois à la renforcer et à recevoir ces portes. Les rebords verticaux ont une largeur de 1 centim., et les deux horizontaux de 2 centim. La porte supérieure porte aussi un rebord pour recevoir l'inférieure. Celle-ci est percée de deux yeux ou trous de 3 centimètres de diamètre, qui forment deux soupiraux qu'on ferme à volonté, au moyen d'une clef ou manivelle commune aisée à concevoir. Enfin, ajoutons que les deux portes sont l'une et l'autre distantes de 10 centim. des fonds supérieurs et inférieurs du poêle.

4°. Sur chacune des faces latérales du poêle est une porte qui occupe toute la largeur de cette face, et dont la hauteur AI est de 36 centim.; par chacune de ces portes on a introduit dans l'intérieur du poêle une caisse prismatique FHGI, dont la profondeur FH est de 22 centim., la hauteur FI de 22, et la largeur de 28 : ces caisses ont tout autour un rebord de 1 centim. de large pour s'appliquer, d'une part, contre deux règles verticales qui renforcent les arêtes AI, et, d'autre part, contre le rebord EF de la cloison, ainsi que contre un autre petit rebord que portent les faces latérales IBDI, qui, à cet effet, ont été reployées deux fois à angles droits. Dans cette disposition, les caisses sont comme suspendues et isolées dans la capacité du poêle, en ce qu'il y a en dessous un vide de 4 centim., dans lequel s'introduisent des charbons et des cendres; en dessus, un vide de 10 $\frac{1}{2}$ centim. destiné aux casseroles; et latéralement entre les caisses et le devant ou le derrière du poêle, un autre vide de $\frac{2}{3}$ centim., où peut circuler la flamme. Enfin, l'intervalle des deux caisses, qui forme proprement le foyer, est de 18 centim.; ajoutons encore que, pour faciliter l'entrée du bois par les trous à casseroles,

l'arête supérieure G a été retranchée par un plan incliné de 45 dégrés, qui ajoute à la caisse une nouvelle face de 4 centim. de largeur.

Z est la tête d'une petite barre qui traverse les grandes faces verticales du poêle et les faces parallèles des caisses, afin de les assujettir fixement. Cette barre, qui reçoit à son extrémité un écrou, se retire à volonté, quand on veut enlever les caisses pour les réparer.

S est un trou de 3 centim. de diamètre, percé dans la face de la caisse la plus voisine de la façade du poêle. Ce trou, qui se ferme à volonté par une petite plaque qui tourne sur un pivot, sert à évacuer dans le foyer les vapeurs des alimens qui cuisent dans la caisse, et peut être appelé *trou aspirateur*, parce qu'en effet le foyer aspire fortement par ce trou l'air de la caisse lorsque sa porte est fermée.

5°. Le fond supérieur BB DD du poêle est percé de deux trous de 24 centim. de diamètre, et séparés par un intervalle de 4 centim. Ces deux trous, qui reçoivent les casseroles, sont doublés en dessous par un anneau plan ou couronne circulaire qui forme, pour l'un des deux trous, un rebord de $\frac{1}{2}$ centim., et pour l'autre un rebord de 1 centim. Ces rebords ou retraites servent à recevoir des couvercles circulaires ou plans, qui sont fermés de deux cercles découpés pour faire les trous. Ces deux couvercles portent une anse ou poignée.

6°. TT sont les ouvertures des tuyaux de la fumée. Ces trous, dont le diamètre, ainsi que celui des tuyaux, est de 11 centim., sont éloignés de 3 centim. des faces latérales du poêle. De ces trous partent deux tuyaux horizontaux de 12 centim. de long, qui se rejoignent par un troisième, du milieu duquel s'élève la branche verticale.

Enfin, les tuyaux de la fumée sont prolongés dans l'intérieur du poêle de 8 à 10 centim., pour obliger la flamme et la fumée de passer près du centre des trous à casseroles, avant de gagner l'entrée de ces mêmes tuyaux.

K est un axe vertical passant à travers le tuyau horizontal,

recevant un écrou par un bout, ayant la forme d'une clef par l'autre bout K, et portant un cercle ou disque qui, suivant sa position, ferme à volonté l'ouverture du tuyau et le passage au courant d'air.

7°. En dessous de la porte MM de la façade du poêle, est une tablette horizontale de 33 centim. de long sur 20 centim. de large; elle est portée par deux crochets qui entrent dans deux pitons fixés au poêle. Deux ailes latérales et verticales, en forme d'arcs-boutans, servent à la rendre plus solide. Il règne dans son pourtour un rebord ou couronnement de 3 centim. de hauteur, lequel n'empêche pas la porte de s'ouvrir entièrement.

8°. Le poêle est porté par quatre pieds YY de 22 centim. de hauteur : l'un de ces pieds est plus court de 2 centim., et reçoit une vis qui, en s'allongeant, va atteindre le plancher, quelque inégal qu'il soit. Par ce petit mécanisme très-simple, on procure au poêle la stabilité qui manque d'ordinaire à tous les meubles portés par quatre pieds.

9°. Le poêle est fait avec de la tôle de trois espèces : la première, de 1 millim. environ d'épaisseur, pour les parties de la carcasse qui doivent avoir de la solidité et suffisamment de durée; savoir : le dessus, le devant, le derrière, et la cloison qui reçoit les cendres; la seconde, de $\frac{1}{2}$ millim., pour les parties qui souffrent moins, comme le fond inférieur, les portes latérales et la tablette; la troisième, de $\frac{1}{3}$ de millim. d'épaisseur, pour les parois des caisses, qui peuvent se séparer aisément, et qui ont besoin de transmettre facilement le calorique dans leur capacité.

Des usages et des effets du poêle économique. 1°. Lorsqu'on a introduit deux ou trois morceaux de bois dans le foyer par l'une ou l'autre des deux ouvertures du fond supérieur du poêle, et qu'on y a mis le feu, on voit bientôt la combustion s'accélérer par l'effet du courant rapide qui s'établit au soupirail; la flamme et la fumée se séparent en deux, enveloppent les caisses, et gagnent les tuyaux de la fumée; les

caisses sont alors plongées dans une atmosphère embrasée qui lance le calorique par leurs cinq faces dans leur capacité. Si alors les deux trous supérieurs sont fermés par deux casseroles, si l'on a placé dans les caisses deux plats rectangulaires pleins d'alimens quelconques, et sur la tablette de devant un pot, on a la satisfaction de voir cuire à la fois tous ces cinq mets. Lorsque deux seront arrivés à une parfaite cuisson, on pourra les insinuer dans le four inférieur et les remplacer par de nouveaux; on aura alors sept plats cuisans à la fois, et par un feu modéré.

2°. La chaleur est si forte dans les caisses, que pour empêcher que la partie la plus voisine du foyer ne brûle, il faut appliquer en cet endroit un rectangle incliné de tôle, qui serve d'écran à cette face dans la moitié de sa hauteur.

Avec cette précaution, la pâtisserie, la viande, etc. etc., y cuisent également et plus proprement que dans les fours ordinaires.

3°. Le four inférieur sert très-bien, non seulement pour y entretenir chaud, mais encore pour faire prendre croûte en dessus aux mets qu'on y place dans ce dessein sous le foyer.

4°. La tablette sert très-bien aussi à faire cuire un rôti, lorsqu'on ouvre la porte inférieure du foyer, à faire du café, etc. etc.

5° Les caisses, tant que les portes en sont fermées, ne laissent échapper aucune odeur, surtout si l'on a eu l'attention d'ouvrir les trous aspirateurs par lesquels les vapeurs sont aspirées dans le foyer aussitôt que formées.

6°. Lorsqu'on veut ajouter du bois par l'un ou l'autre des deux trous à casseroles, la flamme et la fumée se dirigent du côté qui n'est pas ouvert, et il n'entre aucune fumée dans l'appartement, avantage qui n'a lieu dans aucun des poêles percés d'une seule ouverture par-dessus.

7°. Veut-on transformer le poêle en une cheminée, on n'a qu'à ouvrir la porte inférieure du foyer, et même toutes deux; on a alors le plus possible de chaleur dans l'appartement, mais moins dans les caisses. Ce qu'il y a de remar-

quable dans ce cas, c'est qu'il ne sort aucune fumée par les portes; cela vient de ce que les contre-courans qui produisent les tourbillons de fumée à l'ouverture des tuyaux, sont empêchés par les caisses de ramener la fumée jusqu'aux portes. Si, au lieu de deux tuyaux, on n'en avait qu'un placé au milieu et vis-à-vis le foyer, on perdrait cet avantage, sans compter que les casseroles seraient bien moins chauffées.

8°. Veut-on concentrer la chaleur dans un des côtés du poêle pour y accélérer la cuisson, on n'a qu'à tourner la clef du tuyau opposé.

9°. Lorsque le poêle n'est pas occupé à cuire dans les caisses, il faut avoir soin d'ouvrir et de renverser sur le derrière les portes latérales : la chaleur se répandra sans obstacle dans l'appartement, et il y aura moins de perte de calorique.

10°. Au moyen d'une cloison de tôle que l'on place au milieu de la hauteur des caisses, on se procure à volonté un étage de plus, qui sert à placer d'autres alimens.

11°. Si on trouvait les tuyaux à fumée embarrassans, soit pour le coup-d'œil, soit pour tout autre motif, on pourrait les diriger sous le plancher pour les ramener ensuite dans le tuyau de la cheminée. Le poêle ressemblerait alors sous ce rapport à la cheminée de Franklin, et conserverait néanmoins tous les avantages qu'il a sur elle.

On pourrait, au lieu de réunir les deux tuyaux en un seul, les diriger séparément chacun au tuyau de la cheminée.

Si au lieu de bois on veut brûler de la houille, il n'y a qu'à placer une grille au fond du foyer.

Chauffage à la vapeur. Ce mode de chauffage, dont les appareils reçoivent souvent le nom de *Calorifères à vapeur*, réunit les avantages de tous les procédés en usage, sans en avoir les inconvéniens; il convient particulièrement aux grands établissemens renfermant des matières très-combustibles, et surtout aux bibliothèques publiques, etc.

L'appareil est composé d'une chaudière fermée et de plu-

sieurs tuyaux ou conduits destinés à porter la chaleur dans les différens étages de l'établissement.

Pour bien remplir cet objet, la chaudière doit être en cuivre, qui est un des meilleurs conducteurs de la chaleur ; le fond en doit être mince, afin de mieux transmettre la chaleur et de porter plus promptement l'eau à l'ébullition, et il n'en est que plus durable, parce qu'il n'est pas nécessaire de l'exposer à un feu ardent. Ce fond doit présenter une surface assez étendue pour recevoir toute l'action du feu, qui doit en élever la chaleur constamment au-dessus de 100 dégrés centigrades. Une trop grande surface ne produirait pas de vapeur ; trop petite, l'effet deviendrait insuffisant.

Quant à la forme de la chaudière, elle est très-variable ; les plus communes, en Angleterre, sont celles appelées *chaudières en chariot* : elles sont rectangulaires, avec un sommet semi-cylindrique ; le fond est ordinairement courbé, la concavité tournée au feu. Quelquefois aussi on donne de la courbure aux côtés ; mais il paraît que la forme cylindrique a des avantages marqués sur les autres, et doit être préférée.

Les tuyaux pour conduire la vapeur se font ordinairement en fonte de fer, quelquefois en cuivre ; celui-ci étant plus coûteux, est généralement moins en usage. Cependant on doit l'employer dans les séchoirs, parce que le fer gâte le linge.

Les dimensions de la chaudière et des tuyaux se règlent sur la quantité de chaleur dont on a besoin, et d'après les données suivantes :

1°. Une chaudière de cuivre de 2 ou 3 millimètres d'épaisseur, produit 40 à 50 kilogrammes de vapeur par heure et par mètre carré de surface exposée au feu d'un foyer ordinaire, pour la production desquels on brûle 6 à 7 kilogr. de houille.

2°. Dans les tuyaux destinés à porter la chaleur, et dont l'épaisseur est de 1 millimètre et demi, la vapeur condensée est égale *en poids* à 1, 2 kilogr. pour chaque mètre carré par heure ; la quantité de chaleur qui en résulte équivaut

à 1, 2 × 650 dégrés ou 780 unités; ou à celle de 100 mètres cubes d'air, dont la température serait élevée de 25 dégrés.

Un résultat pratique, reconnu en Angleterre, démontre qu'il faut 1 mètre carré de fonte, ayant 2 centim. d'épaisseur, chauffé constamment par la vapeur, pour élever de 20 dégrés la température de 67 mètres cubes d'air.

Avec ces données, il est facile de déterminer les dimensions de la chaudière propre au chauffage par la vapeur. d'une pièce d'une grandeur donnée, ainsi que l'étendue de la surface des tuyaux, la quantité de combustible à dépenser par heure, etc.

Supposons, par exemple, que toute la masse de l'air à échauffer par heure, y compris le renouvellement, soit de 1000 mètres cubes, et que sa température doive être élevée de 20 dégrés, on dira : 1000 mètres cubes d'air pèsent 1300 kilogrammes, qui équivalent, à cause de leur moindre chaleur spécifique, à $\frac{1300}{4}$ ou 325 kilogr. d'eau, et exigent par conséquent 325 × 20 dégrés ou 6500 unités; la perte par les murs et les fenêtres étant évaluée à un cinquième de cette quantité, ou à 1300 unités, il faudra en tout produire 7800 unités de chaleur. Comme, dans la pratique, on peut retirer d'un kilogramme de charbon 3900 unités, il faudra dépenser $\frac{7800}{3900}$ ou 2 kilogr. de combustible par heure, ou 20 kilogrammes par journée de dix heures; ce qui équivaudra à un quart d'hectolitre dont la valeur est de 1 franc à Paris.

La quantité de vapeur pour former cette chaleur sera de $\frac{7800}{650}$ ou 12 kilogr. par heure. Or, puisqu'un mètre produit 40 kilogr. de vapeur par heure, la surface chauffante de la chaudière sera de $\frac{12}{40}$ ou $0^m,3$, ou à peu près un tiers de mètre carré. On peut déterminer aussi la surface rigoureusement nécessaire de tuyaux qui donnent la chaleur, en se rappelant que 1 mètre de tuyaux produit 780 unités; d'où il suit que, pour développer les 7800 unités nécessaires dans ce cas-ci, il faudra une surface de tuyaux égale à

$\frac{7800}{780}$ ou 10 mètres carrés. Si donc on donne aux tuyaux 1 décimètre de grosseur ou 314 millimètres de circonférence, il en faudra une longueur totale de $\frac{10}{0,314}$ ou de 32 mètres environ.

Le fourneau doit être construit en matériaux qui soient mauvais conducteurs de la chaleur, puisque l'objet qu'on se propose est d'employer toute l'action calorifique sur la chaudière : il est cependant indispensable de faire entrer du métal dans certaines parties, mais il faut en employer le moins possible. L'emplacement pour le combustible et la chaudière doit être établi en briques à l'épreuve du feu, maçonnées avec de l'argile ; le reste de la maçonnerie doit être en briques dures et bien cuites.

La grandeur de la grille destinée à recevoir le combustible est estimée, dans la pratique, à un dixième de mètre par 5 kilogr. de charbon ; et pour obtenir une bonne combustion, il doit y avoir constamment sur la grille une couche de charbon de 5 à 6 décimètres d'épaisseur.

Les tuyaux sont placés dans le sens de la longueur, ainsi que l'indique la *fig.* 68, dans le lieu à échauffer ; et afin que tout l'ensemble puisse se soumettre aux effets de la dilatation et de la contraction occasionnés par les différentes températures qu'ils éprouvent, les tuyaux ne doivent pas être arrêtés d'une manière invariable ; on aura soin, au contraire, de les rendre libres, en les faisant supporter par des rouleaux. Pour faire juger de la nécessité de ce que nous venons de dire, nous ferons connaître que, si la longueur d'un tuyau de fonte est égale à 1, au point de congélation, elle sera de 1,00111 au terme de l'ébullition ; et cette dilatation sera de 0,0017, si les tuyaux sont en cuivre ; et nous ajouterons qu'aucune partie d'un bâtiment ordinaire ne serait capable de résister à la force de dilatation d'un tuyau en fer ; et s'il y a aux extrémités une résistance égale à la force de la pression, il faudra que les tuyaux se rompent, soit dans leur jonction, soit dans quelques parties de leur longueur (voy. p. 52 et suivantes).

Pour assembler les tuyaux entre eux, il faut remarquer que les joints doivent être impénétrables à la vapeur, et qu'il faut éviter de les emboîter, parce que la dilatation, la contraction, le mouvement des tuyaux, ne tarderaient pas à lui livrer passage. La meilleure manière de joindre les tuyaux est au moyen de renflemens aplatis; on place entre les joints de la toile d'un tissu peu serré, qu'on a soin d'enduire de céruse préparée comme pour de la peinture épaisse; et, au moyen de boulons à écrous, on rapproche les deux parties assez pour que le joint ne présente aucune ouverture à la vapeur.

On a profité de la dilatation des tuyaux pour suspendre l'introduction de la vapeur, lorsque le lieu à échauffer est arrivé à une température déterminée : en effet, comme l'allongement augmente avec l'accroissement de chaleur, il suffit de placer à l'extrémité libre du tuyau, une soupape contre laquelle cette extrémité, en se dilatant, vienne s'appliquer pour fermer l'ouverture et ne plus donner issue à l'introduction ultérieure de la vapeur.

On emploie aussi la vapeur pour chauffer de grandes masses liquides, et pour cuire des légumes et des racines. Quand on veut échauffer des liquides par le moyen de la vapeur, on dispose sur un fourneau une petite chaudière fermée de toutes parts, et à laquelle sont adaptés autant de tubes qu'il y a de vases; ces tubes se rendent chacun dans la partie inférieure d'un vase, y conduisent la vapeur qui s'échappe de la chaudière quand on fait du feu dans le fourneau, et au bout d'un certain temps la température du liquide qui s'y trouve s'élève jusqu'à 100° : on peut, si l'on veut, arrêter plus tôt l'opération. En faisant rendre un de ces tubes dans un pot contenant de l'eau, et de la viande ou des légumes, on prépare du bouillon ou l'on fait cuire ces légumes; mais alors il faut mettre un peu moins d'eau qu'à l'ordinaire, parce que la vapeur en se condensant augmente la quantité. On fait encore cuire la pomme de terre sans addition d'eau, et on dit alors qu'elle est cuite à la vapeur;

cette méthode est surtout employée dans les maisons d'agriculture où il s'en fait une grande consommation : elle est très-facile à employer, et permet d'éviter la dépense d'une grande chaudière, d'un grand fourneau et d'une partie du combustible. La vapeur arrive conduite par un tube dans la partie inférieure d'un tonneau rempli de pommes de terre; elle les échauffe et en même temps se condense : pendant son changement d'état, une grande quantité de chaleur est produite, la température s'élève rapidement, et bientôt la cuisson est parfaite. Trois quarts d'heure suffisent, lorsque les dispositions sont favorables, pour cuire 50 kilogrammes de pommes de terre, au travers desquelles il faut faire passer 5 litres d'eau en vapeur.

Le chauffage des masses liquides au moyen de la vapeur peut être appliqué avec avantage dans un grand nombre de cas : on peut alors remplacer plusieurs grandes chaudières par une seule beaucoup plus petite destinée à fournir de la vapeur, et par plusieurs cuves contenant les liquides à échauffer. Pour calculer les dimensions de la chaudière dans chaque cas particulier, il faut savoir combien elle doit contenir d'eau; ou bien, il faut savoir quelle est la quantité d'eau qu'il faut réduire en vapeur pour produire l'effet voulu, ou pour porter à une température déterminée la masse de liquide qu'on veut employer. Soit M cette quantité exprimée en kilogrammes ou en litres; désignons par t la température à laquelle elle est avant l'opération, par t' la température à laquelle on veut la porter, par X le nombre de kilogrammes ou de litres d'eau qu'il faut pour cela réduire en vapeur : chacun de ces X kilogrammes produira, en se condensant dans la masse de liquide à échauffer, cinq fois et demie autant de chaleur (page 129) qu'il en faut pour porter de 0° à 100° 1 kilog. d'eau, c'est-à-dire 550 unités de chaleur, et les X kilog. en produiront 550 X unités; ils perdront en outre chacun $100-t'$, et en tout $(100-t')$ X unités qu'ils communiqueront au liquide à échauffer, qui, à la fin de l'opération, aura subi une élévation de température de $t'-t$,

et aura gagné par conséquent autant de fois $t' - t$ unités de chaleur qu'il contient de kilog. ou qu'il y a d'unités dans M, c'est-à-dire $(t' - t)$ M unités. Or, la chaleur gagnée doit évidemment égaler la chaleur produite et la chaleur perdue; on aura donc l'équation suivante :

$$550X + (100 - t')X = (t' - t)M;$$

d'où on tire la formule suivante :

$$X = \frac{t' - t}{650 - t'} M \quad (q),$$

au moyen de laquelle on calculera aisément le nombre de kilogrammes ou de litres d'eau qu'il faudra réduire en vapeur pour produire un effet déterminé.

Fourneaux. La description des fours et fourneaux employés dans les arts, ne pouvant trouver place ici, nous nous bornerons à indiquer quelques principes relatifs aux fourneaux destinés au chauffage des liquides, et à résoudre quelques questions qui ont rapport à ce sujet, et qui sont du ressort de la physique élémentaire.

Pour que l'effet utile soit le plus grand possible, 1° il faut que les parois du fourneau soient très-mauvais conducteurs, en briques, par exemple; (les métaux doivent être exclus ou au moins n'être employés que pour les portes et les pièces qu'il serait difficile de faire en maçonnerie); afin que la chaleur développée ne se transmette pas à l'extérieur; 2° la flamme et les produits de la combustion doivent être maintenus le plus long-temps possible en contact avec les parois de la chaudière; 3° le tuyau par lequel s'élèvent les produits de la combustion doit être un peu long et mauvais conducteur (1), afin que le tirage soit suffisant, même lorsque ces produits y

(1) Tous les tuyaux destinés à conduire les produits de la combustion doivent être mauvais conducteurs, excepté les parties de ces tuyaux qui sont situées dans l'intérieur des appartemens dont on veut élever la température.

arrivent à une température assez basse, ayant perdu presque toute leur chaleur par leur contact prolongé avec les parois de la chaudière; 4°. quand on a pour but de conserver la chaleur communiquée au liquide pendant long-temps, on doit environner les parois du vase qui le contient de corps très-mauvais conducteurs : la laine peut être employée à cet usage. Pour faire apprécier les avantages qu'on peut retirer de ces précautions, nous citerons les résultats obtenus dans l'établissement de bains de MM. Jurine et Triayre à Tivoli :

La chaudière est en cuivre et de forme carrée; un fourneau très-étroit est établi le long d'un de ses bords inférieurs. La flamme du bois qui sert de combustible, et les divers produits gazeux de la combustion sont forcés, avant d'arriver à la cheminée, de traverser six gros cylindres de cuivre, disposés parallèlement et horizontalement en deux rangées l'une au-dessus de l'autre dans l'intérieur de la chaudière, et s'abouchant tous l'un avec l'autre. Ces cylindres qui sont de très-bons conducteurs de la chaleur, la communiquent si facilement à l'eau de la chaudière, que le commencement de la cheminée qui s'abouche avec le dernier de ces cylindres, n'est jamais assez chaud pour empêcher d'y appliquer impunément la main. Pour empêcher la chaudière de perdre promptement sa chaleur, on a entouré de toutes parts ses parois latérales et supérieures de corps mauvais conducteurs. Dans ce but, la chaudière est logée dans une caisse en bois, sans fond, et on a ménagé un intervalle de quelques pouces entre l'intérieur de cette caisse et l'extérieur de la chaudière. Cet intervalle est rembourré de laine qui, comme on sait, transmet difficilement la chaleur. Le haut de la chaudière est fermé par deux couvercles en bois, entre lesquels se trouve aussi une couche épaisse de laine. Il ne faut que très-peu de combustible pour chauffer cette chaudière qui est d'une très-grande dimension; et lorsqu'elle est amenée à une température plus ou moins élevée, par exemple à 75°, l'eau qu'elle contient perd si difficilement sa chaleur, qu'au bout de dix jours elle a encore plus de 62° de température.

Cette construction offre une application parfaite des principes que nous avons indiqués; dans bien des cas ces principes ne peuvent point être tous mis en pratique avec autant de succès, mais on doit toujours y avoir égard autant qu'il est possible. Souvent il est nécessaire de calculer d'avance la quantité de combustible qu'on devra employer pour produire un effet déterminé; par exemple, pour porter un liquide d'une température à une autre, ou pour vaporiser une quantité connue d'un liquide, ou pour fondre un solide; cette quantité dépend de la perfection du fourneau; les meilleurs fourneaux n'utilisent que les $\frac{3}{5}$ de la chaleur développée par la combustion, et laissent perdre les $\frac{2}{5}$. Nous allons indiquer les calculs à faire dans ce cas, il sera aisé de les appliquer à tous les cas. Soit P le poids du corps à échauffer, q le nombre d'unités de chaleur nécessaires pour élever de 1° la température de 1 kilog. de ce corps, t sa température et t' celle à laquelle on veut le porter; il faudra (page 128), pour produire cet effet, $Pq(t'-t)$ unités de chaleur; supposons en outre que le bois soit le combustible employé, chaque kilogramme produira 3666 unités de chaleur, desquelles 2200 seulement seront utilisées; puisqu'il faut fournir au corps sur lequel on veut agir $Pq(t'-t)$ unités de chaleur, on dépensera évidemment autant de kilogrammes de bois qu'il y a de fois 2200 dans $Pq(t'-t)$, c'est-à-dire un nombre égal à $\frac{Pq(t'-t)}{2200}$.

Quand la matière soumise à l'action du feu doit changer d'état, il faut calculer alors séparément la quantité de chaleur qu'il faut lui communiquer pour opérer ce changement d'état et pour élever sa température. Comme il peut être utile de se familiariser avec ce genre de calculs, nous allons donner deux exemples numériques; on généralisera facilement ce que nous allons dire.

1°. Quel est le nombre X de kilogrammes de bois sec nécessaires pour fondre 125 kilogrammes d'étain ayant une température de 13°?

D'après MM. Laplace et Lavoisier, il faut pour élever de

1° la température de 1 kilogramme d'étain, une quantité de chaleur égale à 0, 0474 unités (*voy.* p. 126). L'étain fond à 210° (pag. 96); il faudra donc pour élever chaque kilogramme à cette température, 197 fois 0, 0475 ou 9,3575, puisque 210 surpasse 13 de 197. Pour porter à 210° les 125 kilogrammes, une quantité de chaleur 125 fois plus considérable sera nécessaire, c'est-à-dire qu'il faudra 1169,6875 unités de chaleur.

De plus, chaque kilogramme doit recevoir, d'après Black, pour passer à l'état liquide, 277, 5 unités de chaleur; c'est encore 125 fois 277, 5 unités qu'il faut ajouter à 1169,6875, pour savoir la quantité de chaleur qui doit être communiquée à la masse d'étain pour en changer l'état; on trouve 35857,1875 unités.

Il faudra donc, pour produire l'effet proposé, brûler autant de kilogrammes de bois qu'il y a de fois 2200 dans 35857,1875, c'est-à-dire 16, 3 kilogrammes; car chaque kilogramme de bois produit 3666 unités de chaleur (pag. 132), dont les $\frac{3}{5}$ seulement ou 2200 sont utilisées.

2°. Quel est le nombre X de kilogrammes de houille nécessaires pour vaporiser 56 litres ou kilogrammes d'eau ayant une température de 17°?

Pour élever un kilogramme d'eau de 17° à 100°, 83 unités de chaleur sont déjà nécessaires : il en faut 550 pour le faire passer ensuite à l'état de vapeur; en tout, cela fait 633 unités; 56 kilogrammes en exigent 56 fois plus, ou 35448.

Il faudra donc, pour produire un tel effet, employer autant de kilogrammes de houille qu'il y a de fois 4230 dans 35448; car la houille produit 7050 unités de chaleur par kilogramme, dont les $\frac{3}{5}$ seulement ou 4230 sont utilisés. Ainsi on aura pour la quantité cherchée 8, 4 kilogrammes.

Assainissement. La force d'ascension de l'air chaud a été encore mise à profit pour assainir les lieux où l'air se trouve mélangé à des vapeurs nuisibles. Dans les théâtres, un trou

pratiqué vers le sommet de la voûte laisse sortir l'air chauffé par le lustre ; cet air est remplacé par d'autre qui vient des caves, où il est échauffé pendant l'hiver au moyen d'un calorifère, et rafraîchi pendant l'été : l'air de la salle se renouvelle ainsi très-promptement, et les exhalaisons animales que les spectateurs répandent dans l'enceinte ne peuvent s'accumuler en quantité assez grande pour nuire aux personnes qui ne sont pas déjà malades.

Des applications nombreuses de ce principe ont été faites récemment à tous les arts dans lesquels on est forcé d'employer des substances donnant des vapeurs dangereuses. Les ouvriers n'oublieront pas la reconnaissance qu'ils doivent à M. Darcet pour ses travaux en ce genre ; nous regrettons de ne pouvoir les faire connaître : mais c'est dans les ouvrages qui traitent spécialement de ces arts que doivent se trouver décrites en détail les constructions propres à en assainir la pratique.

C'est par un moyen analogue qu'on est parvenu à empêcher la mauvaise odeur des latrines de se répandre ; il suffit pour cela d'établir, au moyen d'un tuyau horizontal, une communication entre le conduit et un tuyau vertical où l'air soit échauffé ; cet air monte, est remplacé par d'autre air qui vient de l'extérieur, s'introduit par l'ouverture des latrines, et arrive, après avoir traversé le tuyau horizontal, dans le tuyau vertical où il est échauffé et dans lequel il s'élève : on obtient ainsi un courant qui emporte sans cesse la mauvaise odeur dans le conduit, puis à l'extérieur. On peut d'ailleurs chauffer l'air par un moyen quelconque, par exemple, en établissant dans le tuyau vertical une lampe qui peut en même temps servir à éclairer un escalier, pourvu qu'on ait eu le soin de faire une partie de la paroi du tuyau vertical en verre ; ou bien en établissant, au moyen d'un tuyau convenable, une communication entre le conduit et la partie inférieure d'un poêle dans lequel on fera du feu, et dont on fermera la porte : la combustion est alors alimentée par de l'air qui entre par l'ouverture des latrines

et emporte la mauvaise odeur ; dans ce cas, le tuyau du poêle remplace le tuyau vertical qui, dans le cas précédent, renfermait une lampe. Cette dernière disposition ne peut être adoptée que pendant l'hiver ; mais elle offre alors un avantage, celui d'alimenter la combustion sans renouveler rapidement l'air de l'appartement dans lequel le poêle est placé, lorsque toutefois le cabinet de latrines ne tire pas l'air de cette pièce.

Distillation. La distillation est une des applications de la chaleur le plus anciennement connues ; mais ce n'est que récemment qu'elle a été portée à un haut dégré de perfection. Cet art a pour but la séparation de plusieurs substances dont les unes sont volatiles et les autres fixes, ou qui sont plus faciles à réduire en vapeur les unes que les autres. On voit d'après cette définition combien ce sujet est important et mérite d'attention : nos lecteurs nous sauront gré sans doute de rapporter ici un abrégé de l'histoire de la distillation que nous extrayons de la chimie appliquée à l'agriculture de M. Chaptal :

« Les anciens peuples n'avaient que des idées très-imparfaites de la distillation. Raymond Lulle, Jérôme Rubée et Jean-Baptiste Porta, ne laissent pas de doute à ce sujet : les anciens connaissaient sans contredit l'art d'élever l'eau en vapeur, d'extraire le principe odorant des plantes, etc. ; mais leurs procédés ne méritent pas le nom d'appareil. Dioscoride nous dit que, pour distiller la poix, il faut en recevoir les parties volatiles dans des linges qu'on place au-dessus du vase distillatoire.

» Les premiers navigateurs des îles de l'Archipel se procuraient de l'eau douce en recevant la vapeur de l'eau salée dans des éponges qu'on disposait sur les vaisseaux dans lesquels on la faisait bouillir. (*Voyez* Porta, *De distillatione*, cap. I).

» Le mot *distillation* n'avait pas chez les anciens une valeur analogue à celle qu'on lui a assignée depuis quelques siècles. Ils confondaient sous ce nom générique la filtration,

les fluxions, la sublimation et autres opérations qui ont reçu de nos jours des dénominations différentes et qui exigent des appareils particuliers. (Jérôme Rubée, *De distillatione*).

» Les Romains, sous les rois et du temps de la république, ne paraissent pas avoir connu l'eau-de-vie. Pline, qui écrivait dans le premier siècle de l'ère chrétienne, ne la connaissait pas encore; il nous a laissé un très-bon livre sur la vigne et le vin, et il ne parle point de l'eau-de-vie, quoiqu'il considère le vin sous tous ses rapports. Galien, qui vivait un siècle après lui, ne parle de la distillation que dans le sens que nous venons de rapporter.

» Tout porte à croire que l'art de la distillation a pris naissance chez les Arabes, qui de tous temps se sont occupés d'extraire l'arome des plantes, et qui ont successivement porté leurs procédés en Italie, en Espagne et dans le midi de la France.

» Il paraît même que c'est dans leurs écrits que l'on trouve pour la première fois le mot *alambic*, qui dérive de leur propre langue, et qu'ils le connaissaient avant le dixième siècle; car Avicenne, qui vivait à cette époque, s'en est servi pour expliquer le catharre, qu'il compare à une distillation, dont l'estomac est la cucurbite; la tête, le chapiteau; et le nez, le bec par où l'humeur s'écoule.

» Rasès et Albucase ont décrit des procédés particuliers pour extraire les principes aromatiques des plantes : il paraît qu'on en recevait généralement les vapeurs dans des chapiteaux qu'on rafraîchissait avec des linges mouillés.

» Il est démontré que Raymond Lulle, qui vivait dans le treizième siècle, connaissait l'eau-de-vie et l'alcohol; car dans son ouvrage intitulé : *Testamentum novissimum*, il dit, page 2, édition de Strasbourg, 1571 : *Recipe nigrum nigrius nigro* (vin rouge), *et distilla totam aquam ardentem in balneo; illam rectificabis quousque sine phlegmate sit.* Il déclare qu'on emploie jusqu'à sept rectifications, mais que trois suffisent pour que l'alcohol soit entièrement inflammable et ne laisse pas de résidu aqueux.

» Le même auteur enseigne ailleurs à s'emparer de l'eau par le moyen de l'alcali fixe desséché. (*Voyez* Bergman, *Opuscula physica et chimica*, édition de Leipsick de 1781, vol. IV, pag. 137). Vers la fin du quatorzième siècle, Basile Valentin proposa la chaux vive pour le même objet.

» Raymond Lulle parle dans tous ses ouvrages d'une préparation d'eau-de-vie qu'il appelle *quinta essentia*, d'où dérive le mot *quintessence*. Il l'obtenait par des cohobations faites à une douce chaleur de fumier pendant plusieurs jours, et par la redistillation du produit. Raymond Lulle et ses successeurs ont attaché de grandes vertus à cette quintessence, dont ils faisaient la base de leurs travaux alchimiques.

Arnaud de Villeneuve, contemporain de Lulle, parle beaucoup de l'eau-de-vie; mais c'est à tort qu'on l'a regardé comme l'inventeur du procédé par lequel on l'obtient. On ne peut pas néanmoins lui refuser la gloire d'avoir fait les plus heureuses applications des propriétés de l'eau-de-vie, et surtout du vin naturel ou composé, soit à la médecine, soit aux préparations pharmaceutiques. (*Arnaldi Villanovani Praxis : Tractatus de vino;* cap. *De potibus*, etc.; éditio Lugduni, 1586).

» Michel Savonarole, qui vivait au commencement du quinzième siècle, nous a laissé un traité (*De conficiendâ aquâ vitæ*), dans lequel on trouve des choses très-remarquables sur la distillation; il observe d'abord que ceux qui l'ont précédé ne connaissaient généralement que le procédé suivant pour la distillation. Ce procédé consiste à mettre le vin dans la chaudière de métal, et à recevoir la vapeur dans un tuyau placé dans un bain d'eau froide; la vapeur condensée coule dans un récipient.

» Savonarole observe que les distillateurs plaçaient toujours leurs établissemens près d'un courant d'eau, pour avoir constamment de l'eau fraîche à leur disposition. Les anciens appelaient le tuyau contourné du serpentin *vitis*, par rapport à ses sinuosités. (*Voyez* Jér. Jubée). Ils employaient, pour luter les jointures de l'appareil, le lut de chaux et de blanc d'œuf, ou celui de colle de farine et de papier.

» Savonarole ajoute que, de son temps, on a introduit l'usage des cucurbites de verre pour obtenir une eau-de-vie plus parfaite, et qu'on coiffait ces cucurbites d'un chapiteau qu'on rafraîchissait avec des linges mouillés.

» Il conseille (chap. V) d'employer de grands chapiteaux pour multiplier les surfaces.

» Il dit que quelques-uns rendaient le col qui réunit la chaudière au chapiteau le plus long possible, pour obtenir de l'eau-de-vie parfaite en un seul coup; il ajoute qu'un de ses amis avait placé la chaudière au rez-de-chaussée, et le chapiteau au faîte de sa maison.

» Dans le nombre des moyens qu'il donne pour juger des dégrés de spirituosité de l'eau-de-vie, il indique les suivans comme étant pratiqués de son temps : 1°. On imprègne des linges ou du papier avec l'eau-de-vie, on y met le feu; l'eau-de-vie est réputée de bonne qualité lorsque sa flamme détermine la combustion du linge ou du papier; 2°. on mêle l'eau-de-vie avec l'huile pour s'assurer si elle surnage.

» Savonarole traite au long des vertus de l'eau-de-vie, et donne des procédés pour la combiner avec l'arome des plantes et autres principes, soit par *macération*, soit par *distillation*, et former par là ce qu'il appelle *aqua ardens composita*.

» Jérôme Rubée, qui a fait beaucoup de recherches sur la distillation, décrit deux procédés assez curieux, qu'il a trouvés, à la vérité, dans des ouvrages anciens. Ces deux procédés consistent, l'un à recevoir les vapeurs dans des tubes longs et tortueux plongés dans l'eau froide, l'autre à placer un chapiteau de verre à bec sur la cucurbite. Le travail de Jérôme Rubée est remarquable en ce qu'il préfère les tubes longs et contournés qui, selon lui, permettent d'obtenir, par une seule distillation, un esprit de vin très-pur, qu'on n'obtient, dit-il, que par des distillations répétées dans d'autres appareils. (*De distillatione*, § 2, cap. II, édit. de Bâle, de 1568).

» Jean-Baptiste Porta, Napolitain, qui vivait vers la fin du seizième siècle, a imprimé un traité *De distillationibus*, dans lequel il envisage cette opération sous tous ses rapports, en l'appliquant à toutes les substances qui en sont susceptibles ; il décrit plusieurs appareils d'après lesquels, par une seule chauffe, on peut obtenir à volonté tous les dégrés de spirituosité de l'alcohol. Le premier de ces appareils consiste dans un tube contourné en spirale qu'il adapte au-dessus de la chaudière ; le second est composé de chapiteaux placés les uns sur les autres, et percés chacun latéralement d'une ouverture à laquelle est adapté un tuyau qui aboutit à un récipient.

» Il observe qu'on peut obtenir par ce moyen et à volonté tous les dégrés de spirituosité, attendu que les parties aqueuses se condensent dans le bas, et que les parties spiritueuses s'élèvent plus haut.

» Ces procédés diffèrent bien peu de ceux qui, selon Rubée, étaient en usage chez les anciens.

» Nicolas Lefebvre, qui vivait vers la fin du dix-septième siècle, a publié, en 1651, la description d'un appareil par lequel il obtient d'une seule opération l'alcohol le plus déphlegmé. Cet appareil est composé d'un long tuyau formé de plusieurs pièces qui s'emboîtent en zigzag les unes dans les autres ; une des extrémités est adaptée à la chaudière, tandis que l'autre aboutit à un chapiteau ; le bec du chapiteau transmet la vapeur dans une allonge qui traverse un tonneau rempli d'eau froide : là les vapeurs se condensent et coulent dans un récipient.

» Le docteur Arnaud, de Lyon, dans son *Introduction à la chimie ou à la vraie physique*, imprimée en 1655, chez Cl. Prost, à Lyon, nous donne des principes excellens sur la composition des fourneaux, la fabrication des luts, la manière de conduire le feu, la calcination, et la distillation qu'il appelle une *sublimation humide*. Il conseille l'usage des chaudières basses, comme facilitant l'évaporation ; il parle de la conversion de l'eau-de-vie en esprit de vin par des

distillations répétées, ou par une distillation au bain-marie telle que nous l'employons aujourd'hui pour distiller les substances dont la partie spiritueuse s'élève à une chaleur inférieure à celle de l'eau bouillante. Il parle aussi du bain de vapeur ou de rosée.

» Jean-Rodolphe Glauber, dans son traité intitulé : *Descriptio artis distillatoriæ novæ*, imprimé à Amsterdam en 1658, chez Jean Jansson, nous fait connaître des appareils dans lesquels on trouve le germe de plusieurs procédés qui ont été perfectionnés de nos jours. L'un consiste à transmettre les vapeurs qui s'échappent par la distillation, dans un vase entouré d'eau froide; de ce premier vase, il fait passer celles qui ne sont pas condensées dans un second, communiquant au premier par un tube recourbé; de ce second, il fait passer à un troisième, et ainsi de suite jusqu'à ce que la condensation soit parfaite. On voit clairement qu'à l'aide de cet appareil qu'on peut appliquer à la distillation, on obtient divers dégrés de spirituosité, selon que la condensation se fait dans le premier, le second ou le troisième de ces vases plongés dans l'eau froide.

» Dans un second appareil, Glauber place une cornue de cuivre dans un fourneau; il en fait plonger le bec dans un tonneau fermé rempli du liquide qu'il veut distiller; de la partie supérieure de ce tonneau part un tube qui va s'adapter à un serpentin disposé dans un autre tonneau rempli d'eau. On voit, d'après cette disposition, que le liquide contenu dans le premier tonneau remplit sans cesse la cornue, et qu'en échauffant cette dernière on imprime bientôt à tout le liquide du tonneau un dégré de chaleur suffisant pour opérer la distillation : de sorte qu'avec un petit fourneau et à peu de frais, on échauffe un volume considérable de liquide. Glauber se sert avec avantage de cet appareil ingénieux pour chauffer les bains.

» Philippe-Jacques Sachs, dans un ouvrage imprimé à Leipsick en 1661, sous le titre de *Vitis viniferæ ejusdem partium consideratio*, etc., nous a donné un traité complet très-

précieux sur la culture de la vigne, la nature des terrains, des climats et des expositions qui lui conviennent, la manière de faire les vins, la richesse des diverses nations dans ce genre, la différence et la comparaison des méthodes usitées chez chacune d'elles, la distillation des vins, etc. On voit surtout dans le dernier chapitre, qui seul nous occupe en ce moment, que les anciens avaient plusieurs méthodes d'extraire l'esprit de vin, lesquelles consistaient ou à élever l'alcohol par une douce chaleur, ou à s'emparer de l'eau du vin par de l'alun calciné, ou à placer des linges mouillés sur la cucurbite, ou à frapper de glace le chapiteau de l'alambic pour ne laisser passer que les vapeurs les plus subtiles, ou enfin à terminer la chaudière par un col extrêmement long. Le même auteur parle aussi de l'alcohol ou de la quintessence, *quinta essentia*, et donne les divers moyens de l'extraire. *Ut vero spiritûs vini alcool exaltetur, variis modis tintârunt chimici : quidam multis repetitis cohobationibus; aliqui, instrumentorum altitudine; alii, spongiâ alembici rostrum obturante, ut aquâ retentâ, soli spiritus transirent; non multi, flammâ lampadis, ut ad summum gradum depurationis exaltaretur.*

» Moïse Charas, dans sa *Pharmacopée* imprimée en 1676, décrit l'appareil de Nicolas Lefebvre, et y ajoute quelques perfectionnemens; il a adapté un réfrigérant au chapiteau. On peut voir encore dans les *Elémens de chimie*, de Berchusen, imprimés en 1718, et dans ceux de Boerhaave, qui parurent à Paris en 1733, plusieurs procédés d'après lesquels on peut obtenir de l'alcohol très-pur par une seule chauffe; mais tous ces procédés ont cela de commun, qu'on fait parcourir à la vapeur de très-longs tuyaux pour condenser les vapeurs aqueuses, et ne recevoir en dernier résultat que l'esprit de vin le plus pur et le plus léger.

» Postérieurement, on a beaucoup écrit sur la distillation, on a proposé et exécuté divers perfectionnemens; mais au lieu de partir de l'heureuse idée des anciens, qui avaient entrevu la possibilité d'obtenir à volonté tous les dégrés de l'alcohol par la condensation successive de la vapeur d'eau mêlée à

l'alcohol, on s'est borné à varier la forme de la chaudière, celle de l'alambic et celle du serpentin; et l'art de la distillation a presque rétrogradé pendant près d'un siècle.

» Cet art s'était fixé, il y a peu de temps, à un appareil qui, quoiqu'éloigné des vrais principes de la distillation des vins, était néanmoins généralement adopté, parce qu'il produisait son effet; et c'est par des distillations répétées de l'eau-de-vie qu'on parvenait à obtenir les divers dégrés de spirituosité qu'on désirait.

» Tel était l'état de la distillation vers la fin du dernier siècle.

» A cette époque, l'appareil le plus généralement employé pour la distillation était composé de trois pièces en cuivre: une chaudière ronde (*fig.* 57) qui contenait environ quatre cents pintes de vin, se rétrecissait vers sa partie supérieure, et recevait un chapiteau (*fig.* 61) qui s'enchâssait dans son orifice et communiquait par un tuyau allongé à un serpentin (*fig.* 59). Ce serpentin était placé dans un tonneau, dans lequel on entretenait de l'eau fraîche pour opérer la condensation des vapeurs alcoholiques.

» Cet appareil grossier présentait plusieurs défauts: le premier de tous, c'est que les vapeurs qui s'élevaient par l'action du feu passaient toutes par le serpentin, où elles se condensaient; de sorte que les vapeurs aqueuses, mêlées aux vapeurs alcoholiques, coulaient dans le *bassiot* ou récipient, et formaient constamment une eau-de-vie très-faible, qu'il fallait soumettre à une seconde distillation, pour la porter à un dégré convenable.

« Le second inconvénient des alambics consistait en ce que la condensation étant toujours très-imparfaite, parce que l'eau du bain du serpentin ne tardait pas à s'échauffer, il y avait une grande déperdition de vapeurs alcoholiques, qui se répandaient en pure perte dans l'atelier.

» Le troisième vice inhérent à ces appareils était le suivant: comme toutes les vapeurs qui s'élevaient de la chaudière passaient immédiatement dans le serpentin, où elles se con-

densaient, il fallait modérer le feu de manière à ne faire évaporer que les parties alcoholiques; un coup de feu un peu plus fort faisait monter une trop grande masse de fluide aqueux, et alors on n'obtenait qu'une eau-de-vie très-faible : il fallait donc surveiller le feu avec un soin extrême; l'opération devenait difficile à conduire.

» Ces vices réunis de l'appareil distillatoire faisaient qu'il était impossible d'extraire les dernières portions d'alcohol contenues dans le vin, sans qu'elles fussent chargées d'une immense quantité de parties aqueuses; on séparait avec soin ce dernier produit de la distillation sous le nom de *petites eaux*, et on les redistillait avec du vin nouveau.

» L'eau-de-vie obtenue par ce procédé avait assez constamment un goût de brûlé; elle était rarement très-limpide : tout cela provenait de la difficulté de pouvoir maîtriser le feu, et de la difficulté plus grande encore de retirer, sans forcer la chaleur, toute la partie alcoholique contenue dans le vin.

» Si l'on ajoute à cela que le fourneau de ces alambics était mal construit, qu'il ne présentait aucun moyen de régulariser la chaleur ni de l'appliquer également à toute la masse du liquide, on verra que l'art de la distillation était encore dans l'enfance.

» Je sentais tous ces défauts, et j'essayai de les corriger : en conséquence, je fis construire des chaudières larges et peu élevées pour présenter à la chaleur une plus grande surface de liquide et moins d'épaisseur; j'entourai le chapiteau d'un bain d'eau froide, pour opérer une première condensation et séparer une partie de la vapeur aqueuse qui retombait en gouttes ou en stries dans la chaudière; je multipliai les circonvolutions du serpentin et agrandis le tonneau du bain pour que l'eau s'échauffât moins facilement. Ces améliorations furent approuvées, et la distillation s'établit d'après ces principes. Mes appareils et ceux de M. Argand, qui avait surtout admirablement perfectionné les fourneaux, ont été employés avec succès pendant quinze à vingt ans.

» Mais dans les premières années de ce siècle, l'art de la dis-

tillation a été établi sur de nouveaux principes, et on a laissé bien loin tout ce qui était connu et pratiqué.

» Un appareil chimique, par le moyen duquel on fait passer des vapeurs ou des gaz au travers des liquides pour les en saturer, a donné à Edouard Adam la première idée de son appareil de distillation.

» La connaissance du fait que les vapeurs aqueuses se condensent à un dégré de chaleur qui ne peut pas opérer la condensation des vapeurs alcoholiques, lui a fourni le moyen de compléter son appareil.

» L'appareil chimique lui a suggéré l'idée de conduire, à l'aide d'un tube de cuivre, les vapeurs qui s'élèvent d'une chaudière de vin placée au foyer du fourneau dans une nouvelle chaudière remplie de vin, pour y déposer leur chaleur et porter le liquide à l'ébullition; les vapeurs qui s'élèvent de celle-ci peuvent être portées dans une troisième, où le vin ne tarde pas à se mettre en ébullition; de sorte qu'il suffit d'entretenir le feu sous une chaudère et de transmettre la vapeur alcoholique dans le vin contenu dans deux et trois autres chaudières bien closes, pour opérer la distillation dans toutes. Cette manière de transmettre la chaleur est aujourd'hui pratiquée dans plusieurs ateliers étangers à la distillation, et c'est ce qu'on appelle *chauffer à la vapeur* (*voy.* pag. 176).

» Par ce moyen, Edouard Adam obtenait déjà une grande économie de combustible, et il était sûr d'avoir des vapeurs alcoholiques qui ne pouvaient en aucun temps sentir le brûlé. Il gagnait encore sur le temps et sur la main d'œuvre, attendu qu'un ouvrier qui ne soignait qu'un fourneau produisait de plus grands résultats que s'il n'eût fait qu'évaporer dans une chaudière.

» C'était déjà beaucoup, sans doute, mais ce n'était pas encore assez; il fallait trouver le moyen de séparer les vapeurs aqueuses des vapeurs alcoholiques, pour avoir ces dernières dans leur plus grand dégré de pureté possible, et c'est ce qu'il a fait en appliquant à son appareil le second principe que nous avons déjà posé.

» Faisons passer, s'est-il dit, les vapeurs alcoholiques qui sortent de la dernière chaudière dans des vases qui soient immergés dans un bain d'eau froide, la vapeur aqueuse s'y condensera, et je pourrai la ramener dans les chaudières pour y être redistillée, tandis que la vapeur alcoholique sortira de ces vases sans s'y condenser, et ira jusqu'au serpentin, où elle subira sa condensation.

» En partant de ce raisonnement établi sur des faits positifs, il a adapté un tube à la partie supérieure de la dernière chaudière : ce tube conduit les vapeurs dans un premier condensateur sphérique, baigné par l'eau ; là, une partie des vapeurs aqueuses se résout en liquide, et ce liquide est porté par un tuyau dans le vin de la première chaudière, pour y être redistillé et dépouillé d'une légère portion d'alcohol qui y est dissoute; les vapeurs qui ne peuvent pas se condenser dans ce premier vase passent dans un second, où il s'opère une condensation nouvelle, attendu que la température y est moins élevée ; de ce second elles passent dans un troisième et dans un quatrième, et ce qui se condense se rend, comme nous venons de le dire, dans la chaudière, pour qu'une nouvelle distillation enlève tout ce qui y reste de spiritueux.

» La vapeur, en traversant les condensateurs, perd peu à peu sa chaleur; l'eau se précipite, l'alcohol se purifie, il se dépouille de presque toute l'eau qui s'était élevée avec lui par l'évaporation ; et lorsqu'il arrive au serpentin, il se condense et marque le plus haut dégré de spirituosité.

» On voit, par ce qui précède, que, d'après ce procédé ingénieux, on peut obtenir à volonté et par une seule opération, tous les dégrés de spirituosité alcoholique du commerce. Chaque condensateur donne un dégré différent; et en retirant successivement le produit de chacun, on a des dégrés qui varient depuis l'eau-de-vie jusqu'à l'alcohol le plus pur. On peut encore diriger les vapeurs dans le serpentin sans les faire passer par l'intermédiaire des condensateurs, et alors on obtient le dégré qui forme la bonne eau-de-vie du commerce.

» Tels sont les principes qui constituent éminemment le procédé d'Edouard Adam ; mais indépendamment de l'application de ces principes, il a ajouté des améliorations qui rendent son appareil plus parfait.

» 1°. A l'aide de robinets et de tuyaux, il dirige à volonté la vapeur dans un petit serpentin d'essai, pour y opérer la condensation et juger du dégré de spirituosité toutes les fois qu'il le juge convenable.

» 2°. Il a été interposé un serpentin entre les condensateurs et le serpentin à eau; il fait baigner dans le vin le serpentin supérieur, et, par ce moyen, le vin y prend un dégré de chaleur qui hâte son ébullition lorsqu'on en remplit les chaudières. Ce premier serpentin condense la vapeur alcoholique de manière que l'alcohol coule liquide dans le second serpentin, et échauffe peu le bain d'eau dans lequel ce second serpentin est plongé.

» Il résulte de ces dispositions trois principaux avantages : le premier, de chauffer, sans aucune dépense, le vin qu'on va distiller ; le second, de n'être pas obligé de renouveler l'eau du serpentin ; le troisième, d'obtenir constamment de l'alcohol froid, et d'éviter toute déperdition ou évaporation.

» M. Edouard Adam forma de suite plusieurs grands établissemens, d'après ces principes, à Cette, à Toulon, à Perpignan, etc., et s'assura d'un brevet d'invention pour jouir en sûreté du fruit de sa découverte.

Mais ses succès éveillèrent bientôt l'attention des autres distillateurs ; ses résultats étaient tels, que ces derniers ne pouvaient plus concourir avec lui : dès-lors on fit des essais par-tout, ou pour imiter, ou pour varier ce procédé.

» C'est surtout en partant de l'idée fondamentale que le dégré de température auquel se condensaient les vapeurs aqueuses, était insuffisant pour condenser les vapeurs alcoholiques, qu'on fit le plus de tentatives. Les appareils construits par Edouard Adam étaient immenses et très-coûteux ; on chercha à en réduire les dimensions et à les mettre à la portée du plus grand nombre

» Isaac Bérard, du Grand-Gallargues (département du Gard), produisit, peu de temps après, un appareil plus simple, qui obtint la préférence sur celui d'Adam : au lieu de coiffer la chaudière d'un chapiteau, comme on le pratiquait anciennement, il la surmonta d'un cylindre dont l'intérieur est divisé en compartimens qui communiquent entre eux par de petites ouvertures : les vapeurs qui s'élèvent du vin en ébullition sont transmises dans ces *chambres*, où elles se dépouillent d'une portion aqueuse qui se rend dans la chaudière par le moyen de conduits, et les vapeurs alcoholiques passent dans un condensateur cylindrique qui plonge dans un bain d'eau ; ce condensateur est divisé intérieurement par des diaphragmes en lames de cuivre, qui en font quatre à cinq *chambres* communiquant entre elles par des ouvertures, de sorte qu'on peut à volonté les laisser parcourir toutes par la vapeur avant qu'elle arrive au serpentin, ou la renvoyer au serpentin après qu'elle a passé par deux ou trois. Les vapeurs se déphlegment de plus en plus en traversant les chambres, de sorte que lorsqu'elles se sont ensuite condensées dans le serpentin, l'alcohol marque trente-six et trente-huit dégrés ; tandis que si on dirige les vapeurs dans le serpentin sans les faire passer dans les chambres du condensateur, l'alcohol marque de vingt à vingt-cinq dégrés. On obtient à volonté tous les dégrés intermédiaires en faisant parcourir aux vapeurs plus ou moins de chambres.

» L'appareil de Bérard parut si simple et si avantageux, qu'il fut généralement adopté. Edouard Adam en attaqua l'auteur comme contrefacteur ; des procès dispendieux qu'il fut forcé de soutenir contre Bérard et beaucoup d'autres, le détournèrent de ses occupations ; et cet homme, à qui on doit presque l'art de la distillation, est mort de chagrin et dans un état voisin de la misère.

» A peu près dans le même temps, M. Cellier, de Blumenthal, conçut l'idée heureuse de multiplier presqu'à l'infini les surfaces du vin soumis à la distillation, pour écono-

miser du temps et du combustible. En conséquence, il fit circuler les vapeurs qui s'échappent de la chaudière, sous de nombreux plateaux placés les uns sur les autres, et contenant chacun une couche de vin d'environ un pouce d'épaisseur. Ces plateaux sont sans cesse alimentés par du vin chaud qui coule de l'un à l'autre, en laissant évaporer l'alcohol; le résidu se rend dans la chaudière où se termine la distillation. Le vin dépouillé de tout l'alcohol s'échappe sans interruption de la chaudière par une ouverture latérale.

» Ce procédé, perfectionné encore par M. Derosne, est très-expéditif et dépense peu de combustible, eu égard aux produits qu'il fournit (*voy.* fig. 60).

» On appelle cette méthode de distiller : *Distillation continue.*

» Ce procédé, quoique mis sous la garantie d'un brevet d'invention, a été imité; et M. Cellier a éprouvé le sort d'Edouard Adam, par les procès qu'il a été forcé d'intenter aux contrefacteurs de son appareil; tant il est vrai que la législation sur les brevets d'invention est très-insuffisante.

» Depuis cette époque, on a varié à l'infini les appareils distillatoires, mais en partant constamment des mêmes principes (1).

» Les uns ont dirigé le courant de chaleur qui s'échappe d'un seul foyer sous plusieurs chaudières placées à la suite l'une de l'autre;

» D'autres ont varié le nombre et la forme des condensateurs;

» Plusieurs ont fait des dispositions plus favorables pour remplir les chaudières, connaître le moment où le liquide ne contient pas d'alcohol, chauffer sans frais le vin qui doit servir à la distillation, etc.

» En appliquant à ces substances fermentées la simple

(1) On peut consulter avec avantage l'ouvrage en deux volumes qu'a publiés M. Lenormand sur la distillation; c'est un traité complet sur cette importante matière.

chaleur des vapeurs aqueuses ou des vapeurs alcoholiques, on en dégage un alcohol qui est plus parfait, parce que le feu n'est pas appliqué immédiatement au liquide; le produit ne sent plus l'empyreume, et la chaudière n'est pas brûlée, comme elle l'était, par la distillation à feu nu du marc et du grain.

» Obligé de faire un choix parmi les appareils connus, ou d'en composer un de toutes les améliorations qui ont été successivement apportées, j'ai adopté le suivant :

» Une chaudière capable de distiller environ cinq cents litres de vin est placée sur un fourneau; de la partie supérieure de cette chaudière part un tuyau qui porte les vapeurs alcoholiques dans une seconde chaudière contenant quatre cents litres; ce tuyau plonge à dix pouces dans le vin contenu dans cette dernière : de la partie supérieure de celle-ci part un tube qui transmet les vapeurs dans un cylindre de cinq pieds de longueur sur quinze pouces de diamètre; ce cylindre est divisé dans son intérieur en quatre cavités ou chambres séparées par des diaphragmes de cuivre, et communiquant entre elles par un léger orifice pratiqué à la partie supérieure de chaque diaphragme : ce cylindre est plongé dans un baquet d'eau froide. On renouvelle l'eau du baquet en la faisant arriver par l'extrémité la plus éloignée des chaudières.

» Les vapeurs qui ne sont pas condensées en parcourant les chambres du cylindre se rendent, à l'aide d'un tuyau, dans un serpentin plongé dans le vin, et de là dans un serpentin inférieur rafraîchi par l'eau. Le courant de chaleur, après avoir chauffé la première chaudière, passe sous la seconde pour faciliter l'ébullition du liquide.

» Telle est la disposition générale de l'appareil; mais pour en rendre le service aussi sûr que facile, il faut entrer encore dans quelques détails d'exécution.

» A chacune des deux chaudières il faut placer :

» 1°. Un petit tuyau avec robinet à la partie supérieure de la chaudière. On ouvre ce robinet pour laisser échapper

un jet de vapeurs, auxquelles on présente un corps allumé; lorsqu'elles s'enflamment, l'opération n'est pas terminée; dans le cas contraire, elle est finie;

» 2°. Un gros tuyau avec un robinet au bas de la chaudière, pour faire couler le résidu ou la vinasse;

» 3°. Un robinet latéral, pour juger du moment où la charge du vin est à une hauteur suffisante;

» 4°. Une douille d'un pouce et demi de diamètre dans la partie supérieure et à quelques pouces de l'endroit où la chaudière commence à se rétrécir, pour pouvoir la nettoyer ou la remplir.

» Au fond de chaque chambre du cylindre condensateur, il doit y avoir un tuyau qui porte au dehors le liquide qui se condense : ces tuyaux doivent s'ouvrir et verser ce liquide dans un tube plus large, qui le porte lui-même dans le fond de la première chaudière. Pour plus de régularité et d'aisance dans le service, il convient de placer un robinet à chacun des tubes, à un pouce de distance de leur insertion dans le tube commun.

» Quant au serpentin supérieur, comme le vin qui lui sert de bain peut prendre un dégré de chaleur capable de produire des vapeurs alcoholiques, il faut que le tonneau dans lequel il est contenu soit hermétiquement fermé, et qu'il n'y ait, à sa partie supérieure, qu'une douille qui permette de le remplir, et un tube qui prenne les vapeurs alcoholiques et les transmette dans le fond de la seconde chaudière. Un grand robinet placé latéralement au fond du tonneau servira à faire couler le vin chaud, toutes les fois qu'on voudra charger la première chaudière.

» Le mécanisme de cet appareil est facile à saisir. Une fois que les deux chaudières et le tonneau du serpentin supérieur sont convenablement chargés de vin, on porte le liquide de la première à l'ébullition, et la seconde commence à s'échauffer par le courant de la chaleur qui s'échappe du foyer de la première. Les vapeurs qui s'élèvent de la première sont transmises dans le liquide de la seconde, où elles se condensent

et se dissolvent en abandonnant toute leur chaleur à la masse de vin qu'elle contient. Le liquide ne tarde pas à se mettre en ébullition : alors toutes les vapeurs alcoholiques passent dans le cylindre condensateur, où elles éprouvent une température froide; la partie aqueuse s'y condense avec une portion d'alcohol; cette partie condensée se rend, par les tuyaux, dans le fond de la première chaudière, où elle se dépouille de son alcohol par une seconde distillation; les vapeurs alcoholiques qui n'ont pas pu être condensées à ce dégré de température se rendent dans le prémier serpentin, où elles se résolvent en liquide; et en passant dans le second, ce liquide perd toute sa chaleur.

» Par cet appareil, on peut obtenir, par une première chauffe, de l'excellent alcohol à trente-six et trente-huit dégrés.

» On conçoit que l'alcohol sera d'autant plus pur, que l'eau dans laquelle le cylindre condensateur est baigné sera plus froide : il faut donc la renouveler le plus souvent qu'on peut.

» On voit aussi que si le tube qui porte les vapeurs de la seconde chaudière dans le cylindre condensateur les transmettait immédiatement dans le serpentin, on obtiendrait de l'eau-de-vie ordinaire; mais qu'en les déphlegmant par le moyen du condensateur, on obtient des dégrés supérieurs.

» Si, au lieu de remplir la première chaudière avec du vin, on la remplissait d'eau, et qu'on chargeât la seconde avec du marc de raisin ou avec du grain fermenté, il suffirait d'opérer de la même manière pour en extraire l'alcohol sans crainte de brûler la matière.

» Cet appareil ne présente aucun danger à courir; les vapeurs ont partout des issues libres, la compression n'est jamais assez forte pour déterminer des explosions, le service en est extrêmement facile. Il peut aisément opérer quatre ou cinq chauffes par jour, et fournir mille à douze cents litres de bonne eau-de-vie, en distillant des vins qui fournissent du quart au cinquième.

» Tous les vins, et généralement les liqueurs fermentées, ne fournissent ni la même quantité ni la même qualité d'alco-

hol. Les vins du midi donnent plus d'eau-de-vie que ceux du nord; on en retire jusqu'à un tiers des premiers; le produit moyen est d'un quart, tandis que dans les vignobles du centre c'est un cinquième, et dans le nord c'est du sixième au dixième.

» Dans le même pays de vignobles, on observe souvent une très-grande différence dans la spirituosité des vins. Les vignes exposées au midi et placées dans un sol sec et léger produisent des vins très-chargés d'alcohol, tandis qu'à côté, mais à une exposition différente et sur un terrain humide et fort, on ne récolte que des vins faibles et peu riches en alcohol.

» La force des vins peut se déduire de la proportion d'alcohol qu'ils contiennent; mais leur bonté, leur qualité, leur prix dans le commerce ne peuvent pas se calculer d'après cette base; le bouquet, la saveur, qui en font rechercher la plupart, sont des qualités étrangères et indépendantes de la quantité d'alcohol qu'ils renferment.

» En général, les vins riches en alcohol sont forts et généreux; mais ils n'ont ni ce moelleux ni ce parfum qui font le caractère de quelques autres.

» Les vins blancs donnent une eau-de-vie de meilleur goût que celle des vins rouges. Dans le midi, on distille presque partout des vins rouges, et l'eau-de-vie, quoique plus abondante, est moins estimée que celle des vins blancs qu'on distille dans l'ouest.

» Les vins qui ont commencé à tourner à l'aigre fournissent peu d'eau-de-vie, et elle est de mauvaise qualité.

» Il ne faut donc distiller que les vins bien fermentés et bien conservés; ce qui explique l'opinion des distillateurs qu'il convient de distiller les vins du moment qu'ils ont terminé leur fermentation. Nous observerons cependant que ce principe n'est applicable qu'aux vins médiocres, qui tournent aisément; et que, pour ce qui regarde les vins généreux, bien fermentés, bien dépouillés, on peut les distiller en tout temps.

» Une fois qu'on a fait choix du vin qu'on veut soumettre

à la distillation, on procède à l'opération de la manière suivante :

» On commence d'abord par laver la chaudière avec le plus grand soin ; et en supposant qu'on vienne de terminer une distillation, on ouvre le robinet pour faire couler la vinasse : par l'ouverture de la douille supérieure, on introduit un bâton pour bien agiter ce liquide, et détacher tout ce qui pourrait former croûte contre les parois intérieures. On ferme le robinet, et on verse de l'eau dans la chaudière ; on l'agite avec soin, et quelque temps après on ouvre le robinet pour la faire couler.

» Pour sentir toute l'importance de cette opération préliminaire, il suffit d'observer que si l'on néglige cette précaution, la paroi de la chaudière s'encroûte d'une couche de tartre et de lie qui ne tarde pas à donner un mauvais goût à l'alcohol, et qui détermine la calcination du cuivre, attendu qu'il n'est plus immédiatement mouillé par le liquide.

» Du moment que la chaudière est bien nettoyée, on y verse le vin, et on la remplit à peu près aux trois quarts. Avant de verser le vin, on a eu la précaution d'ouvrir le robinet latéral pour juger de l'instant où il faut cesser de charger, et pour faire échapper l'air que déplace le vin.

» Dans le même temps que la chaudière le remplit, on allume le feu.

» A mesure que les vapeurs s'élèvent, on juge du chemin qu'elles font dans toutes les capacités de l'appareil par la chaleur que prennent successivement tous les conduits qu'elles parcourent.

» Il passe d'abord un alcohol qui n'a ni goût ni odeur agréable : on sépare ce premier produit pour le distiller une seconde fois.

» L'alcohol qui succède est très-concentré et de bonne qualité. On en détermine le titre par le pèse-liqueur, et on établit à demeure cet instrument à l'ouverture du bassiot pour juger du dégré de l'alcohol pendant tout le temps de l'opération.

» Le pèse-liqueur se maintient à peu près au même dégré pendant quelque temps; mais à mesure que l'appareil et le liquide des bains s'échauffent, la condensation des vapeurs aqueuses est moins parfaite, et l'alcohol est moins concentré, de sorte qu'il perd peu à peu de sa force.

» Lorsque l'alcohol commence à tomber au-dessous de vingt dégrés, on ouvre de temps en temps le petit robinet placé au haut de la chaudière; on présente une allumette enflammée aux vapeurs qui en sortent, et on renouvelle cet essai jusqu'à ce que ces vapeurs ne s'enflamment plus. Dès ce moment, l'opération est terminée.

» Si l'on pouvait entretenir pendant toute l'opération le même dégré de fraîcheur à l'eau des condensateurs et au liquide qui baigne les serpentins, tout le produit aurait le même dégré; et lorsqu'on s'aperçoit que les dégrés diminuent, on peut les relever de suite en rafraîchissant les bains.

» Dès que l'opération est finie, on couvre le feu pour s'occuper de faire couler la vinasse, de nettoyer la chaudière et de la remplir de nouveau.

» Comme l'alcohol produit pendant toute la durée de l'opération n'est pas au même dégré, on peut aisément le porter, par le mélange, au dégré qu'on désire, ou bien redistiller ce qui a passé vers la fin, pour l'obtenir en totalité au plus haut point de concentration connue. On n'a besoin, en aucun cas, de recourir à la distillation qu'on a appelée jusqu'ici *bain-marie*.

» L'alcohol qu'on extrait par la distillation doit être incolore et sans mauvaise odeur; on parvient à lui enlever les mauvaises qualités qu'il peut avoir en le redistillant avec soin. Il suffit même souvent de le filtrer à travers le charbon bien brûlé et réduit en poussière très-fine. Presque toujours les mauvaises qualités de l'alcohol dépendent de ce que la distillation a été mal conduite, ou de ce que les diverses parties de l'appareil ne sont pas propres. Il arrive néanmoins quelquefois que ces défauts proviennent du vin, surtout lorsqu'il est légèrement tourné à l'aigre.

» A mesure que les bassiots qui reçoivent l'alcohol sont pleins, on les vide dans des futailles de bois de chêne qu'on tient dans un lieu frais pour empêcher l'évaporation.

» Le séjour que fait l'alcohol dans le bois neuf lui fait acquérir une couleur jaunâtre, qui n'altère pas sa qualité. L'eau-de-vie, en vieillissant, perd le goût de feu qu'elle a souvent quand elle est fraîche; elle devient plus agréable et plus suave. »

La distillation n'est pas employée seulement pour fabriquer l'eau-de-vie et l'esprit de vin; c'est encore par son moyen que les chimistes préparent un grand nombre de matières nécessaires pour leurs expériences ou pour les besoins des arts : ainsi c'est en chauffant dans un appareil convenable les terres mêlées de soufre qui avoisinent les volcans, qu'on se procure cette dernière substance. Elle passe à l'état de vapeur, se rend dans un récipient ayant une température peu élevée où elle se condense; et comme les terres qui se trouvaient mélangées avec elle ne sont pas susceptibles de se réduire en vapeur dans nos fourneaux, on l'obtient dégagée de toute impureté.

Outre les procédés indiqués précédemment, on a encore tenté d'en employer d'autres; on a essayé de distiller dans le vide à une basse température : le principal avantage qu'on espérait en retirer était une moins grande dépense de combustible; mais toutes les expériences faites jusqu'à présent semblent indiquer qu'il faut autant de chaleur pour réduire un liquide en vapeur, quelle que soit la pression et par conséquent la température (*voyez* pag. 92). Cela vient sans doute de ce que la vapeur qui se forme prend un volume qui est d'autant plus grand que la pression est plus faible : son volume étant plus grand lorsque la pression est moins forte, il en résulte que sa densité est alors plus faible, et, par suite, que le changement d'état cause un plus grand refroidissement (*voy.* p. 36), ce qui peut compenser l'excès de chaleur qu'il faut donner au liquide pour le porter à l'ébullition, lorsqu'il supporte une pression plus considérable. Un avantage certain que présente cette manière d'opérer, consiste en ce que les matières sur les-

quelles on veut agir n'étant pas portées dans ce cas à une haute température, ne sont pas exposées à éprouver des altérations qui en détériorent la qualité; c'est pour cela qu'on a établi dans quelques fabriques de sucre de grandes pompes, dont le jeu continuel entretient vide la partie supérieure des chaudières où on concentre le jus. Les chaudières sont fermées de toutes parts et n'ont de communication qu'avec les pompes qui aspirent sans cesse la vapeur d'eau, dont la formation n'exige alors qu'une légère chaleur. On prévient par ce moyen la transformation d'une partie du sucre contenu dans le jus en sucre incristallisable, ce qui arrive toujours lorsqu'on opère la concentration en faisant bouillir le jus sous la pression atmosphérique. C'est à Howard qu'on doit ce perfectionnement apporté dans les procédés employés pour concentrer les sirops; avec cette importante modification, on peut les amener au dégré convenable sans élever leur température au-delà de 65° à 70°.

Application du principe de la transmission des pressions. Un grand nombre de machines d'une utilité remarquable sont fondées sur le principe de la transmission des pressions, au moyen duquel on peut d'ailleurs rendre raison de plusieurs phénomènes intéressans; il importe donc d'étudier avec soin ce sujet. Nous avons déjà vu (*pag.* 67) que c'était la pression atmosphérique transmise par le mercure qui soutenait la colonne barométrique; c'est un effet analogue qu'on observe quand on pratique une petite ouverture dans la partie inférieure d'un tonneau sans déboucher la bonde; la pression atmosphérique soutient le liquide qui y est contenu, et l'écoulement n'a pas lieu. C'est encore la même cause qui permet d'employer la pompe des celliers pour retirer par la bonde un peu du vin qu'on veut goûter. Cette pompe consiste en un tuyau de fer-blanc ou de toute autre matière, terminé par un petit trou à sa partie inférieure, et ayant à son extrémité supérieure un couvercle dans lequel on a aussi percé un trou. Pour s'en servir, on la plonge dans le liquide, puis on bouche

avec le pouce le trou supérieur, et on la retire; le liquide qui s'y était introduit s'y trouve maintenu par la pression atmosphérique : elle est alors dans le même cas que le tonneau, qui n'a d'autre ouverture qu'un petit trou à sa partie inférieure. Lorsqu'on veut recevoir le vin dans un vase, il suffit de lever le pouce pour qu'aussitôt le liquide s'écoule en vertu de son poids que rien ne contrebalance alors, puisque l'atmosphère exerce une pression qui fait équilibre à celle que l'air lui fait supporter à sa partie inférieure, en vertu de sa tension qui est égale à la pression atmosphérique avec laquelle elle est en équilibre.

Les charlatans emploient pour changer l'eau en vin, un appareil qui a beaucoup de ressemblance avec la pompe des celliers; il est représenté dans la *fig.* 77. C'est un entonnoir ayant doubles parois; l'espace compris entre les deux parois communique avec l'extérieur par un trou qu'on voit en A, et avec le bec de l'entonnoir par une autre ouverture pratiquée en B. On plonge d'abord l'entonnoir dans du vin, puis on le retire en tenant le pouce sur le trou supérieur; l'entonnoir se vide, et l'espace compris entre les doubles parois reste plein de vin qui n'est nullement apparent; et quand ensuite on veut faire l'expérience, on verse de l'eau dans l'entonnoir et on débouche le trou supérieur; l'eau et le vin s'écoulent ensemble par le bec de l'entonnoir où ils se mêlent, et on n'aperçoit plus qu'une liqueur rouge. Pour rendre l'illusion plus complète, on peut prendre un vin très-spiritueux et très-coloré, afin qu'on ne s'aperçoive pas de son mélange avec l'eau.

Le même principe explique encore une expérience très-connue : on pose sur un verre à boire rempli d'eau un disque en papier un peu plus large, et on le met en contact avec le liquide et les bords du verre, en ayant soin de ne pas laisser d'air dessous. Dans cet état le verre peut être renversé sans que le liquide en sorte; il y reste soutenu par la pression atmosphérique.

Hémisphères de Magdebourg. L'atmosphère transmettant sa

pression dans tous les sens, il en résulte que les corps qui y sont plongés supportent sans cesse sur toutes les parties de leurs surfaces l'action d'une force qui tend sans cesse à les écraser; cette force est la même que celle qui proviendrait d'une colonne d'eau de 32 pieds environ, ou d'une colonne de mercure de 28 pouces : elle est évidemment proportionnelle à la surface sur laquelle elle s'exerce.

Il est facile, d'après cela, de s'assurer par un calcul simple que, sur un homme de moyenne taille, elle équivaut au moins à 16000 kilogrammes. Une pareille pression semblerait d'abord devoir nous écraser; mais dans l'intérieur de notre corps les cavités sont toutes remplies de liquides ou de gaz qui ont une tension précisément capable de faire équilibre à la pression atmosphérique. Otto de Guericke, bourgmestre de Magdebourg, inventeur de la machine pneumatique, a imaginé un petit appareil très-propre à constater l'énormité de la pression que l'atmosphère fait supporter aux corps qui y sont plongés. Cet appareil se compose de deux hémisphères creux dont les bords peuvent s'appliquer exactement l'un contre l'autre; l'un est terminé par un anneau, et l'autre par un robinet et une vis qui peut s'adapter à la machine pneumatique. On réunit les deux hémisphères en les séparant par un anneau de peau imbibée d'huile pour ôter toute entrée à l'air; puis le robinet étant ouvert, on visse l'appareil sur la machine pneumatique, et on y fait le vide; ensuite on ferme le robinet, on enlève l'appareil et on le suspend par l'anneau supérieur, et on adapte à la partie inférieure une pièce propre à recevoir des poids (*voyez* fig. 78). Des hémisphères ayant 6 pouces de diamètre peuvent porter ainsi un poids de 60 livres sans se séparer; tandis que si on ouvre le robinet pour laisser rentrer l'air, le plus léger effort, même le poids de l'hémisphère inférieur, suffit pour les désunir, parce qu'alors la force expansive de l'air intérieur fait équilibre à la pression extérieure.

Pour démontrer d'une manière encore plus évidente que

la difficulté qu'on éprouve à séparer les hémisphères, lorsque l'espace qu'ils contiennent est vide, vient de la pression de l'air extérieur, on peut les visser de nouveau sur la machine pneumatique, mais pas jusqu'au bout de la vis, puis les recouvrir d'une cloche munie d'une boîte à cuir, dans laquelle passe une tige dont on attache l'extrémité à l'anneau supérieur des hémisphères. On fait le vide dans la cloche, et on remarque en soulevant la tige que les hémisphères se séparent alors avec la plus grande facilité.

Avant de nous occuper de la description des appareils utiles, nous citerons encore une expérience assez intéressante : l'expérience du crève-vessie. On attache avec une petite corde un morceau de vessie (1), de manière qu'il ferme exactement un cylindre de verre posé sur la platine de la machine pneumatique, puis on fait jouer les pistons pour extraire l'air qui occupe l'espace compris au-dessous de la vessie ; on la voit alors prendre une forme de plus en plus concave et se crever ensuite avec explosion, cédant à la pression atmosphérique dont on a supprimé le contrepoids : le bruit est dû à la rentrée brusque de l'air dans le vase.

Fontaine intermittente. La fontaine intermittente se compose d'un globe de verre (*fig.* 79) ou de toute autre matière, percé de plusieurs trous auxquels sont adaptés autant de petits tubes *a*, *b*, *c*, *d*, et traversé selon son axe vertical par un tube MN, dont l'extrémité supérieure s'élève jusqu'à une petite distance du sommet *e*, et dont la partie inférieure s'emboîte exactement dans un autre tuyau PQ soudé à la cuvette RS ; ce second tuyau est échancré en *f* à son extrémité inférieure ; on y remarque en outre une cuvette RS communiquant par un trou qu'on voit en *g* avec un réservoir T.

Lorsqu'on veut faire usage de cette fontaine, on retire le tube MN, et on introduit par son moyen de l'eau dans le globe ;

(1) On mouille la vessie avant de l'appliquer, afin qu'elle s'étende mieux, ensuite on la laisse sécher.

on le renverse ensuite et on le replace, l'eau s'écoule d'abord par les petits tubes *a*, *b*, *c*, *d*, et l'espace qu'elle occupait se remplit d'air qui pénètre dans le ballon par l'échancrure *f*. Mais l'eau, en tombant dans la cuvette, d'où elle ne peut passer que lentement dans le réservoir T, a bientôt obstrué l'échancrure, et alors le ballon ne pouvant recevoir d'air se trouve dans le même cas que le tonneau qui n'a qu'une petite ouverture à sa partie inférieure, et l'écoulement cesse. Peu de temps après il recommence, parce que l'eau de la cuvette ayant eu le temps de s'écouler, l'échancrure établit une communication entre le globe et l'atmosphère; ensuite l'écoulement cesse de nouveau par la même cause; puis il recommence, de sorte que la fontaine coule et tarit alternativement, jusqu'à ce que l'eau du globe soit épuisée.

Syphon. Le syphon qui sert à transvaser les liquides, est un tuyau recourbé dont une branche est plus longue que l'autre. Quand on veut s'en servir, il faut le remplir, le renverser de manière que sa convexité se trouve en haut, en observant de tenir ses ouvertures fermées, et plonger l'extrémité de la plus courte branche dans le liquide; l'écoulement commence aussitôt à s'effectuer par l'ouverture de la grande branche, au-dessous de laquelle on place le vase destiné à recevoir le liquide. Quand le liquide n'a point d'action nuisible sur l'économie animale, on peut placer le syphon sans le remplir préalablement, on l'amorce alors en aspirant avec la bouche par l'extrémité de la plus longue branche. Un autre moyen peut encore être mis en pratique, quand le vase qui contient le liquide permet d'y plonger profondément la petite branche du syphon : on peut dans ce cas placer le syphon, et enfoncer la petite branche dans le liquide, en tenant l'ouverture de la grande branche fermée exactement avec le doigt ou la paume de la main; l'air du syphon ne pouvant s'échapper, le liquide ne s'y introduit pas; mais quand ensuite on donne à l'air une libre issue, le liquide s'élance avec force dans la petite branche immergée, pour s'y mettre

au même niveau que dans le vase ; et, parvenu à ce point, il s'élève encore à cause de la vitesse qu'il possède ; et si le sommet n'est pas beaucoup élevé au-dessus du liquide, l'écoulement commence. Quel que soit le moyen employé pour amorcer le siphon, l'écoulement continue jusqu'à ce que le liquide soit épuisé.

Il est facile de concevoir la raison de cet effet : la pression atmosphérique qui s'exerce sur la surface du liquide que contient le vase se transmet au liquide du siphon, et tend à produire l'écoulement : toutefois son action est en partie détruite par le poids de la colonne de liquide *a b*, de sorte que le liquide qui se trouve en *b* est poussé dans la grande branche par une force égale à la pression atmosphérique, moins la pression de la colonne *a b*; d'un autre côté, l'atmosphère exerce en *c* de bas en haut une pression qui tend à s'opposer à l'écoulement; cette pression est même plus forte d'une quantité très-faible que celle que supporte le liquide du vase, le point *c* étant plus bas (*voy.* pag. 74); mais son action est détruite en partie par la colonne *b c* qui est plus longue que la colonne *a b*, et dont le poids est par conséquent plus considérable; de sorte que la partie qui se transmet en *b*, et qui tend à faire refluer le liquide dans la petite branche, est moindre que la force dont nous avons parlé précédemment, laquelle tend au contraire à faire passer le liquide *b* dans la grande branche. Ce dernier effet aura donc lieu, l'écoulement s'effectuera ; et, comme le liquide qui était en *b* sera remplacé par d'autre, et qu'il ne peut s'introduire d'air dans l'appareil, puisque l'extrémité *a* est plongée dans le liquide, l'écoulement continuera jusqu'à épuisement total. Le petit excès de la pression que l'atmosphère exerce en *c* sur celle qu'il exerce en *a*, ne peut d'ailleurs être un obstacle suffisant; car cet excès résulte de la différence entre les deux colonnes atmosphériques, différence qui est la même que celle des deux colonnes de liquide dont la densité est de beaucoup plus grande que celle de l'air.

Le siphon offre encore un moyen d'imiter les fontaines

intermittentes ; la *fig.* 72 représente l'appareil qu'on peut employer dans ce but. Il faut concevoir qu'un bassin contenant de l'eau supérieur au vase A, y laisse couler lentement de l'eau, elle s'élèvera au même niveau dans le vase A et dans la petite branche du siphon *a b c* ; et jusqu'à ce qu'elle soit parvenue en *b*, on ne remarquera aucun écoulement en *c* ; mais aussitôt qu'elle aura atteint ce point, le siphon produira son effet ; et s'il est un peu large, après un certain temps il aura vidé complètement le vase A, et se sera rempli d'air. L'écoulement cessera alors, pour recommencer quand le siphon sera de nouveau amorcé, et ainsi de suite ; de sorte que si de pareilles dispositions, à la forme près qui peut être très-différente, existent cachées dans une montagne, et si l'ouverture *b* se trouve à la surface de la terre, on aura une fontaine dont l'écoulement sera périodique.

Pompes. Les pompes sont des instrumens destinés à élever l'eau ; on en distingue trois espèces : les pompes foulantes, les pompes aspirantes, et les pompes aspirantes et foulantes. Leur construction repose sur le principe de la transmission des pressions et sur les variations qui surviennent dans la force expansive de l'air, lorsque le volume de ce fluide change.

La pompe foulante se compose d'un corps de pompe *a b*, *fig.* 80, dans lequel glisse un piston *c*, et d'un tuyau latéral *d e o*, par où l'eau doit être élevée. Le piston est muni d'une tige au moyen de laquelle on peut le mouvoir alternativement de bas en haut et de haut en bas ; le corps de pompe contient une soupape *f* qui s'ouvre de bas en haut, et qui est adaptée à son fond ; une autre soupape *g* est aussi adaptée dans le tuyau latéral ; elle s'ouvre pareillement de bas en haut ; l'appareil est plongé dans l'eau jusqu'en *b*.

Voici maintenant ce qui se passe quand on fait jouer le piston : pendant son mouvement ascendant, l'eau soulève les soupapes *f* et *g*, et s'introduit dans le corps de pompe

et dans le tuyau latéral, pressée par la couche qui a pour hauteur *b a*; lorsque le piston redescend, la soupape *f* reste fermée, tant à cause de son poids, que parce que le piston la presse alors de haut en bas en refoulant l'eau; la soupape *g* est au contraire soulevée, et le piston force l'eau du corps de pompe à s'élever dans le tuyau latéral, jusqu'en *m* par exemple. Quand le piston remonte de nouveau, le poids de la colonne de liquide *m g*, qui est plus grand que celui de la colonne *b a*, maintient fermée la soupape *g*; la soupape *f* s'ouvre, et le corps de pompe reçoit une nouvelle quantité d'eau qui est ensuite refoulée dans le tuyau latéral. On peut ainsi élever l'eau dans le tuyau *e o* à une hauteur arbitraire.

La pompe aspirante est représentée *fig.* 81; on la place au-dessus de l'eau à la hauteur à laquelle on veut produire l'écoulement. *a b* est le corps de pompe au fond duquel est adaptée, comme dans la pompe foulante, une soupape qui s'ouvre de bas en haut; *g* est une soupape adaptée au piston *e*; cette soupape s'ouvre aussi de bas en haut; *K* est le tuyau par où s'effectue l'écoulement : *m n* est un tuyau soudé au bas du corps de pompe, et dont l'extrémité inférieure plonge dans l'eau; c'est par ce tuyau que l'eau doit d'abord d'élever.

Quand le piston s'élève depuis le bas du corps de pompe jusqu'au haut, il tend à y produire le vide; la soupape *f* s'ouvre alors soulevée par la tension de l'air qui remplit le tuyau *mn*, cet air se répand dans le corps de pompe, et cette augmentation de volume cause une diminution dans sa tension; l'eau qui se trouve en *n*, obéissant à la pression atmosphérique qui lui est transmise par le liquide, s'élève dans le tuyau jusqu'à ce que son poids, joint à la force de tension qui reste à l'air, puisse faire équilibre à la pression atmosphérique (1); quant à la soupape *g*, comme elle supporte en

(1) La tension de l'air est ici évaluée au moyen d'une colonne d'eau capable de lui faire équilibre.

dessus la pression atmosphérique qui l'emporte sur celle que l'air du corps de pompe lui fait éprouver, elle reste fermée. Le piston descendant, la soupape *f* se tient fermée par son poids et parce que l'air qui occupe le corps de pompe est comprimé; cet air force bientôt la soupape *g* à s'ouvrir, et il s'échappe dans l'atmosphère. Le piston remontant, l'eau s'élève un peu plus; et quand il descend ensuite, une nouvelle quantité d'air est chassée dans l'atmosphère. Enfin, après un certain nombre de coups de piston, le liquide parviendra dans le corps de pompe et passera, pendant le mouvement de haut en bas, au-dessus du piston, qui l'élèvera ensuite jusqu'au tuyau *h* où l'écoulement s'effectuera. Toutefois, il est plusieurs conditions auxquelles les pompes aspirantes doivent satisfaire pour produire leur effet : d'abord le tuyau *mn* doit avoir moins de 32 pieds, car la pression atmosphérique ne peut faire monter l'eau qu'à cette hauteur, de même qu'elle ne soutient le mercure qu'à 28 pouces. En second lieu, le piston doit descendre jusqu'au bas du corps de pompe; sans cela le liquide ne peut pas même être élevé jusqu'à 32 pieds; il s'arrête lorsque l'air qui reste sous le piston quand il est au bas de sa course, air qui a la même tension que celui de l'atmosphère, peut avoir encore, en occupant tout le corps de pompe, une tension égale à celle de l'air du tuyau; la soupape *f* reste alors fermée pendant le mouvement de bas en haut du piston, à cause de son poids, et aucun changement ne survient dans le tuyau *mn*. Cette dernière condition n'est jamais remplie exactement, il est utile de calculer jusqu'à quel point ce défaut peut nuire à l'effet des pompes aspirantes, afin de savoir, dans les cas où on ne se propose pas d'élever l'eau par aspiration à la plus grande hauteur possible, mais seulement à une hauteur déterminée, s'il importe de l'éviter avec plus ou moins de soin.

Dans une pompe qui a le défaut que nous venons de signaler, l'eau peut s'arrêter dans le tuyau ou dans le corps de pompe, entre son fond et la position la plus basse du piston: nous considèrerons ces deux cas séparément :

1°. Soient *h* la hauteur à laquelle l'eau s'élèvera dans le

tuyau au-dessus de son niveau extérieur; H la hauteur d'une colonne d'eau capable de faire équilibre à la pression atmosphérique (à peu près 32 pieds); p le volume de la partie du corps de pompe parcouru par la base du piston dans son mouvement, et v' le volume de toute la partie du corps de pompe située au-dessous du piston, quand il est au sommet de sa course. Lorsque l'eau s'arrête par les causes que nous avons indiquées, le piston monte et descend inutilement; arrivé au bas de sa course, l'air qui le sépare du fond du corps de pompe a une tension égale à la pression atmosphérique ou à celle d'une colonne d'eau H, et un volume $v'-v$; quand le piston est au haut de sa course, cet air a une tension moindre et qu'on peut calculer au moyen des principes établis à la page 98, puisqu'on sait que son volume devient alors v'; on trouve qu'elle est égale à $\frac{v'-v}{v'}$ H. Or, cette tension, ainsi que nous l'avons fait remarquer, est la même que celle de l'air qui occupe la partie supérieure du tuyau, et on sait que celle-ci, augmentée de la pression due à la hauteur h, égale la pression atmosphérique ou H; on a donc :

$$\frac{v'-v}{v'}\,\mathrm{H} + h = \mathrm{H},$$

équation qui donne, quand on la résout par rapport à h,

$$h = \frac{v}{v'}\,\mathrm{H}.$$

On voit, d'après cela, que pour que la pompe fasse monter l'eau dans le corps de pompe, il est déjà nécessaire que le tuyau mn soit moins haut qu'une fraction de 32 pieds (ou de H), égale au rapport du volume parcouru par la base du piston, à celui de la partie du corps de pompe comprise au-dessous de cette base, quand le piston est au haut de sa course.

2°. L'eau, parvenue dans le corps de pompe, peut encore s'arrêter entre le fond du corps de pompe et la base du piston; il suffit pour cela que l'air qui se trouve entre sa surface et le

piston, ait, quand le piston est au haut de sa course, une tension qui, ajoutée à la pression de la colonne d'eau élevée h, puisse faire équilibre à la pression atmosphérique : cela étant, l'eau ne pourra plus s'élever. Désignons par l la plus grande hauteur du piston au-dessus du niveau de l'eau, par i l'étendue de sa course. Le piston étant descendu, l'air du corps de pompe a une tension H, et occupe un espace cylindrique dont la hauteur est évidemment $l-i-h$; le piston étant au haut de sa course, l'air occupe alors un espace cylindrique égal en diamètre et ayant une hauteur $l-h$. Les volumes des cylindres qui ont une même base étant proportionnels à leurs hauteurs, et les tensions des gaz étant en raison inverse des volumes (*pag.* 98), on conclut de là que la tension de cet air sera alors : $\frac{l-i-h}{l-h}$ H; et comme en y ajoutant h on doit obtenir pour somme la pression atmosphérique, on a l'équation :

$$\frac{l-i-h}{l-h}\mathrm{H}+h=\mathrm{H},$$

d'où on tire :

$$h=\frac{l}{2}\pm\sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)-i\mathrm{H}}.$$

Pour que la pompe produise son effet, il faut qu'il n'existe pas de hauteur h à laquelle le liquide puisse s'arrêter; en d'autres termes, il faut que le radical qui entre dans l'expression de h soit imaginaire, ce qui donne la condition :

$$\left(\frac{l}{2}\right)^2<i\mathrm{H} \quad \text{ou} \left(\frac{l}{2}\right)^2<32i,$$

c'est-à-dire que l'eau ne montera au-dessus du piston qu'autant que le carré de la moitié de la plus grande hauteur du piston au-dessus du niveau de l'eau, exprimée en pieds, sera moindre que 32 fois la course du piston aussi exprimée en pieds.

La pompe aspirante et foulante réunit tous les avantages

des deux espèces dont nous venons de parler; elle peut, comme la pompe aspirante, être posée où on veut, pourvu que ce ne soit pas à plus de 32 pieds au-dessus de la surface du liquide, et, comme la pompe foulante, elle élève l'eau à une hauteur arbitraire. Quant à sa construction, elle ne diffère de celle de la pompe foulante qu'en ce que le corps de pompe est soudé à un tuyau qui va plonger dans l'eau, et par où elle est d'abord aspirée (*voy.* fig. 82); les effets en sont faciles à concevoir, d'après ce que nous avons dit séparément des pompes aspirantes et des pompes foulantes. On fait aussi des pompes aspirantes et foulantes construites comme les pompes aspirantes, excepté que le tuyau d'écoulement *k* est remplacé par un tuyau qui s'élève à une hauteur arbitraire, et que la tige du piston glisse à frottement dans l'ouverture pratiquée au sommet du corps de pompe. Lorsque l'eau est parvenue au-dessus du piston, elle est soulevée pendant le mouvement d'ascension, et elle passe dans le tuyau latéral.

La force à employer pour mouvoir les pistons dépend du genre de construction qu'on a adopté, de la grandeur du piston et de la hauteur à laquelle l'eau est élevée; il est facile, en se rappelant le principe de la transmission des pressions, de démontrer par le raisonnement :

1°. Que, dans les pompes foulantes, le piston peut être soulevé sans effort, et que, pour l'abaisser, il faut une force capable de soulever autant de kilogrammes qu'il y a de litres ou de décimètres cubes dans une colonne d'eau ayant pour base celle du piston, et pour hauteur celle à laquelle le piston est élevé;

2°. Que, dans les pompes aspirantes, le piston peut être abaissé sans effort, et que, pour le faire monter, il faut une force capable de soulever autant de kilogrammes qu'il y a de litres ou de décimètres cubes dans une colonne ayant pour base celle du piston, et pour hauteur celle du piston au-dessus du niveau de l'eau;

3°. Que, dans les pompes aspirantes et foulantes, il faut, pour abaisser le piston, une force capable de soulever

autant de kilogrammes qu'il y a de litres dans une colonne d'eau ayant même base que le piston, et une hauteur égale à celle du tuyau latéral; et, pour le faire monter, une force capable de soulever une colonne d'eau ayant pour base celle du piston, et pour hauteur celle du piston au-dessus du niveau de l'eau;

4°. Que, dans les pompes aspirantes et foulantes dont nous avons parlé en second lieu, le piston peut être abaissé sans difficulté; et que, pour le faire monter, il faut une force capable de soulever une colonne d'eau ayant pour base celle du piston, et pour hauteur celle à laquelle l'eau est élevée par cette pompe (1).

La quantité d'eau élevée dans un temps donné est facile à calculer, quand on connaît la capacité de la partie du corps de pompe parcourue par la base du piston : il faut multiplier cette capacité par le nombre de coups de piston pour avoir la quantité d'eau sortie par le tuyau d'écoulement. Toutefois, cela suppose que le piston est assez exact pour qu'il ne puisse passer aucune portion d'eau ou d'air entre sa surface frottante et le corps de pompe, ce qui n'a pas toujours lieu; les pompes dont le piston n'est pas parfait produisent un peu moins d'effet.

Quelquefois on a besoin d'un écoulement constant; on l'obtient facilement quand la pompe est aspirante et foulante, en refoulant l'eau dans un réservoir à air R, *fig.* 90, du fond duquel part un tuyau *a b* qui s'élève ensuite à une hauteur arbitraire. L'eau refoulée comprime l'air du réservoir; son volume diminuant, sa tension augmente, et force l'eau qui occupe la partie inférieure de ce réservoir à monter dans le tuyau *a b* qui y plonge. On voit clairement que si le jeu du piston est un peu vif, l'air du réservoir sera toujours plus ou moins comprimé, et qu'il poussera constamment l'eau dans le tuyau, mais avec une force dont

(1) Dans tout ceci nous faisons abstraction du frottement des pistons parce qu'on ne peut le soumettre au calcul.

l'intensité variera pendant les différentes parties du mouvement du piston. Cette force dépendra à chaque instant de la diminution de volume éprouvée par l'air du réservoir; s'il a été réduit à ne plus occuper que la moitié du volume qu'il avait d'abord, sa tension sera doublée; elle sera égale à deux fois la pression atmosphérique ou à deux atmosphères : l'air extérieur qui s'oppose à l'ascension de l'eau dans le tuyau *a b* fera équilibre à la moitié de cette force, et l'eau ne montera plus qu'en vertu d'une pression égale à celle de l'atmosphère : sans les frottemens et la résistance de l'air, elle s'élèverait donc à 32 pieds. En raisonnant de même, on prouvera que l'eau sera portée à 64,96,128 pieds par l'air du réservoir, suivant que son volume sera devenu par la compression le tiers, le quart ou le cinquième de ce qu'il était d'abord.

C'est sur ces principes que sont fondées les pompes à incendie qui doivent jeter l'eau à de grandes hauteurs; nous allons donner la description de deux appareils qu'on emploie dans ce but, la pompe de Neusham et la pompe de *Rown-tree :*

La pompe de Neusham (1) est représentée *fig.* 69, 70 et 71. La *fig.* 69 montre la machine en perspective. A B est un réservoir en planches de chêne, et trois fois aussi long que large, monté sur quatre roues solides D, E, ayant un avant-train C, où des hommes s'atèlent avec des bricoles pour transporter la pompe où l'on veut. A l'arrière est un boyau de cuir F, qu'on visse; ce boyau, très-solidement soutenu en dedans par des spires en gros fil de fer, va servir à puiser l'eau d'un réservoir, d'un étang ou d'un puits, à l'aide d'une aspiration comme on va le dire : on alimente donc la caisse d'eau sans qu'on ait besoin de l'y verser; une grille placée au-dedans de l'entrée du boyau F arrête les pierres et les graviers qui pourraient obstruer les conduits.

(1) Extrait du dictionnaire technologique des arts et métiers.

ML est une caisse de protection, ayant la forme d'une pyramide renversée; un homme peut monter sur cette caisse pour diriger de M l'ajutage conique en cuivre, par lequel sort le jet; c'est ce qu'on appelle une *lance*. Mais le plus souvent on visse un boyau en cuir au lieu de cet ajutage, et la lance ne se place qu'au bout de ce boyau dont on a soin d'effacer toutes les sinuosités, et de prolonger l'étendue jusqu'où il convient. Ces vis doivent être très-soignées et à plusieurs filets, pour que l'eau ne puisse s'échapper par les joints, malgré l'énorme pression qui la chasse. C'est dans cette caisse ML qu'est déposé le réservoir à air TSR, *fig.* 71, dont on concevra bientôt l'usage.

On manœuvre cette pompe en saisissant les poignées des barres I et H, que des hommes robustes font aller et venir, tandis que d'autres ouvriers montés sur des marches, aux côtés de la caisse, jettent alternativement le poids de leur corps sur l'une et sur l'autre, en saisissant les barres H et I des leviers. Ces barres font monter et descendre les pistons K,*k*, l'un après l'autre, ainsi qu'on le voit dans la *fig.* 70, à l'aide des secteurs BC, DE en fonte de fer, portant des doubles chaînes de la forme de celles qu'on emploie dans les montres. Les chaînes de chaque secteur se croisent, et ont leurs extrémités fixées, savoir, l'une en E ou M au bas du secteur, et en haut F,*f* de la tige du piston; l'autre en B ou D au haut du secteur, et au bas H ou *h* de la tige. Les tiges sont en fer et en forme d'étrier.

Lorsqu'on fait monter et descendre la barre PQ, le double secteur tourne autour de l'axe A, les chaînes se déroulent et s'enroulent en sens réciproque, et l'un des pistons s'élève quand l'autre s'abaisse. Ces pistons K et *k* sont à têtes très-solides, et joignent hermétiquement en glissant dans leurs corps de pompe.

La boîte ou caisse AB (*fig.* 69) doit être faite de pièces jointes, sans laisser le moindre interstice, et les jointures sont recouvertes de lames de cuivre, pour que l'eau très-comprimée ne puisse suinter ni jaillir par les fentes. Une

soupape est placée dessous chaque piston (*fig.* 70), et s'élève avec lui, mais se referme lorsqu'il descend et comprime l'eau. L'aspiration amène, comme on voit, le liquide dans la caisse DE (*fig.* 71), en soulevant la soupape; lorsque le piston redescend, cette soupape se ferme, et l'eau contenue en Lb se trouvant comprimée, se répand dans le réservoir d'air TSR, en levant une seconde soupape qui se referme bientôt, et ainsi successivement. L'air du réservoir est donc obligé de gagner la partie supérieure, et l'eau s'y élève à une plus ou moins grande hauteur, selon l'activité de la manœuvre des pistons.

Cet air intérieur a d'abord la même densité que l'extérieur; mais si on le force à n'occuper qu'une partie du vase, alors sa densité et en même temps sa tension augmentent, et il presse la surface de l'eau avec une force qui tend à la porter à des hauteurs que nous avons indiquées page 217.

Voici maintenant comment l'eau s'échappe de ce réservoir, qui est construit solidement en cuivre et fermé de toutes parts :

Le tuyau TV est vissé au sommet du réservoir, où celui-ci est percé d'un pas de vis très-juste et très-bien travaillé; ce tuyau plonge presque au bas du réservoir, et vient s'ouvrir en V. Tant que l'eau affluente n'atteint pas cet orifice inférieur V, l'air du réservoir communique librement à l'extérieur par le conduit VT; mais dès que l'eau s'élève au-dessus de V, l'air est refoulé et condensé, et, réagissant sur le liquide, le force à monter dans le tube TV et à s'écouler au dehors avec une vîtesse proportionnée à la pression, c'est-à-dire à la vîtesse de la manœuvre; car six hommes relayés par six autres au bout de cinq minutes au plus, doivent agir vivement sur les leviers; et comme l'eau, en vertu des frottemens, ne peut jaillir avec la même rapidité qu'elle y arrive, le volume d'air intérieur diminue de plus en plus, jusqu'à ce qu'enfin sa tension, s'accroissant à mesure, arrive à résister et équilibre la puissance des pistons : alors le jet demeure continu et avec une vîtesse constante.

La pompe à incendie de *Rown-tree* est beaucoup mieux

combinée et d'une manœuvre plus facile; elle est à double effet et agit à l'aide d'un piston circulaire glissant dans la capacité d'un cylindre (*voy.* les fig. 73, 74, 75 et 76, où les mêmes lettres désignent les mêmes choses, et qui montrent la machine sous différens aspects pour en faire comprendre la disposition et le mécanisme).

La *fig.* 73 est la pompe montée sur son chariot et vue en long; la *fig.* 75 en est la coupe longitudinale; la *fig.* 74 est la machine projetée sur un plan antérieur, et la *fig.* 76 une coupe transversale; en sorte que 73 et 74 sont des élévations sur deux plans verticaux perpendiculaires, et 75 et 76 deux coupes par des plans aussi à angles droits. AA est un cylindre en fonte de trois décimètres de diamètre (10 pouces), et de 4 $\frac{1}{2}$ de longueur; ce cylindre est parfaitement alésé et poli dans l'intérieur; chaque bout est fermé par un obturateur ou couvercle qu'on y visse et qui clôt hermétiquement. Au centre de ces couvercles est un trou rond pour laisser passer l'arbre moteur B; ce trou est garni d'étoupes et de graisse pour fermer l'accès à l'air et à l'eau; cette boîte doit être capable de résister à une très-forte pression, et cependant de rester soumise à cette dernière condition.

Le piston est ici circulaire D, c'est-à-dire que lorsqu'on fait tourner l'axe B sur lui-même, il emporte avec lui la pièce P qui y est solidement jointe, et qui, frottant sur toutes les parois à l'aide des cuirs gras dont elle est garnie, fait une sorte de demi diaphragme. On voit en E une autre cloison nommée *selle*, qui bouche aussi hermétiquement en frottant sur l'axe B; mais cette selle est fixée dans le cylindre. Ces deux cloisons coupent donc la capacité intérieure en deux espaces, dont l'un va croissant quand l'autre diminue, par l'effet de la rotation du piston D.

Au dehors du cylindre AA, on voit un conduit en segment de cercle *d*, qui le recouvre d'un tiers environ de la circonférence, et qui est destiné à amener l'eau, par le tuyau *e*, dans les deux chambres *g* et *t*, où il s'ouvre par des soupapes *l*, *m* : ces chambres s'étendent presque dans toute la

longueur du cylindre, et sont hermétiquement fermées par des couvercles vissés *r*, *r* : ils communiquent par d'autres soupapes *y*, *y* avec la chambre supérieure K, au-dessus de laquelle est vissé le globe creux *k*; cette partie de l'appareil constitue le réservoir à air, d'où part un tube plongeant W qui va porter l'eau où l'on veut. Le levier HH, basculant sur l'arbre B, sert à manœuvrer la pompe, à l'aide d'une barre qui traverse le trou H H et à laquelle les hommes sont appliqués.

Voici le mécanisme de cette machine : Lorsqu'on fait basculer le levier, l'arbre B tourne d'abord dans un sens, de manière à porter le piston D vers la région *k*, ce qui produit un vide dans l'espace à droite et dans la chambre *t* ; car les parois du cylindre sont dans cet endroit percées d'une multitude de petits trous, aussi bien que les parois *k* de l'autre chambre. Ce vide fait lever la soupape *m*, et l'eau arrive par le conduit *ed*. D'un autre côté, l'eau contenue dans l'espace à gauche est refoulée par le piston dans la chambre *g*, puis, levant la soupape gauche *y*, entre dans l'espace K et dans le réservoir d'air. Lorsqu'on fait basculer le levier en sens contraire, le vide se produit à gauche, la soupape *l* se lève, et l'eau arrive par *e* en *g*, attendu que la soupape gauche *y* s'est refermée : du côté droit, au contraire, l'eau est refoulée dans la chambre *t*; puis, levant la soupape droite *y*, elle entre dans le réservoir d'air. Cette ingénieuse machine fait donc arriver l'eau avec force dans ce réservoir, tour à tour d'un côté et de l'autre ; de même le liquide arrive avec force du tuyau *e* successivement à gauche et à droite ; ce qui fait que nous avons dit que cette pompe est *à double effet*, puisque le double mouvement de bascule a un effet utile.

Belier hydraulique. Cette machine a été inventée en 1797 par Montgolfier, auquel on doit aussi les aérostats ; elle est destinée comme les précédentes à élever l'eau, mais elle en diffère principalement en ce qu'elle fonctionne d'elle-même et qu'elle ne nécessite pas, comme les pompes, l'emploi d'un

homme ou d'une seconde machine propre à produire le mouvement.

La *fig.* 83 en représente les différentes parties : AB est un tuyau dans lequel l'eau se meut avec une vîtesse dépendant de la hauteur de la colonne TA qui la presse ; cette eau s'écoulerait constamment par l'orifice C, sans la présence d'un boulet creux D, dont le poids est environ double de celui d'un même volume d'eau. Ce boulet repose sur des courroies ou *muselières ;* l'eau ayant acquis pendant son écoulement par l'ouverture C une assez grande vîtesse, peut le soulever et l'appliquer contre cette ouverture qui se trouve alors exactement fermée. *abcd* est un ajutage cylindrique sur lequel on visse le réservoir à air F ; *e* est un boulet destiné comme celui qu'on voit en D à faire office de soupape ; lorsqu'il retombe par son poids, il ferme l'ouverture E, seule communication entre le tuyau AB et le réservoir à air. En S est une petite soupape s'ouvrant à l'intérieur ; GIH est le tuyau dans lequel l'eau s'élève ; il est adapté à la partie inférieure du réservoir d'air.

Nous allons expliquer maintenant le jeu du belier : l'eau s'écoulant par l'orifice *c* acquiert bientôt une vîtesse dépendante de la hauteur de sa chûte ; elle soulève le boulet D qui, en s'appliquant contre des rondelles de cuir qui terminent l'ouverture *c*, la ferme. L'eau du tuyau AB, en vertu de sa vîtesse acquise, comprime alors celle qui, se trouvant vers la tête du belier (on nomme ainsi l'ensemble des parties qui sont au-delà du point B'), n'a pu s'écouler, parce que l'ouverture B a été fermée ; cette eau réagissant soulève le boulet *c*, et passe en partie dans le réservoir F dont elle comprime l'air, et dans le tuyau latéral GIH ; en même temps elle repousse l'eau du tuyau AB vers la source : elle se dilate pour produire ces effets, et même plus qu'elle n'avait été condensée (tous les corps élastiques dépassent d'abord leur premier volume, à cause de la vîtesse acquise par leurs molécules, quand, après avoir été comprimés, la force qui exerçait sur eux son action vient à être supprimée). Sa réaction cesse alors ; le boulet *e* retombe le premier et

ferme l'ouverture E; l'eau qui occupe le conduit ABB'D, qui avait dépassé son volume naturel dans ces circonstances, y revient (*voy.* pag. 104). Cet effet donne l'avantage à la pression atmosphérique qui ouvre la soupape S, fait entrer dans l'espace *abcd* un peu d'air qui passe ensuite dans le réservoir quand le boulet *e* est soulevé de nouveau, et fait retomber le boulet D sur sa muselière. L'écoulement recommence par l'ouverture C, et pendant qu'il a lieu, l'air comprimé du réservoir F, par sa force expansive, force l'eau à s'élever dans le tuyau GIH, de sorte que l'écoulement ne cesse pas. Les mêmes effets recommencent ensuite, et de l'eau est constamment élevée dans le tuyau latéral à une hauteur qui dépend du diamètre du tuyau et de la vîtesse que l'eau peut prendre en le traversant. Le réservoir d'air n'est pas indispensable, mais il augmente l'effet du belier et rend l'écoulement constant.

Il paraît que, dans la pratique, le belier utilise plus de 60 pour 100 de la force réelle de l'eau de la source; c'est à peu près ce que peuvent donner les roues à *pots* les mieux construites; les roues *en dessous* ne donnent que 25 ou 30 pour 100.

Pressions supportées par les parois des vases qui contiennent des liquides. Nous avons vu, page 66, que les liquides exercent leur pression dans tous les sens sans aucune perte; il est nécessaire de donner maintenant à ce sujet quelques développemens qui faciliteront l'intelligence de ce qui va suivre.

Considérons d'abord un vase cylindrique vertical plein de liquide, et partageons sa capacité intérieure en petites couches horizontales (*fig.* 84): chacune d'elles supporte le poids de la colonne atmosphérique augmenté de celui des couches qui sont au-dessus, et a, par conséquent, une densité d'autant plus grande qu'elle se trouve à une plus grande profondeur au-dessous du niveau du liquide; en même temps sa tension augmente de manière à rester tou-

jours égale à la pression (*voy.* page 65). Il suit de là que les diverses parties des parois supportent une pression d'autant plus grande qu'elles sont plus basses, et que le fond supporte le poids total du liquide, ou, ce qui est la même chose, une pression égale à ce poids et due à la tension de la dernière couche, et en outre la pression atmosphérique, laquelle s'exerce aussi de bas en haut sur sa face inférieure. Le fond d'un vase semblable égal en hauteur, et qui aurait une base dix fois plus grande, supporterait évidemment, de la part du liquide, une pression dix fois plus forte; mais chaque centimètre carré pris sur le fond de l'un ou l'autre vase, supporterait la même pression.

La *fig.* 85 représente un vase qui va en s'élargissant du bas vers le haut; son fond étant égal à celui du vase de la *fig.* 84, on conçoit facilement qu'une colonne de liquide de la même hauteur leur fait éprouver une même pression : le liquide contenu dans l'espace *abc* (*fig.* 85) est soutenu par les parois latérales.

Il n'est pas moins aisé, d'après les principes posés à la page 66, de démontrer que la pression transmise au fond d'un vase qui aurait la forme indiquée par la *fig.* 86, serait encore la même, pourvu que ce fond eût la même surface, et que la hauteur verticale du niveau du liquide fût égale. La colonne *mn* comprime par son poids la petite masse liquide *nopq*; celle-ci, par sa tension qui se trouve accrue d'une quantité égale à l'augmentation de pression, comprime aussi les masses liquides *nors*, *pqtu*, jusqu'à ce qu'elles aient acquis la même tension qu'elle, et la couche *rstu* agit alors comme dans le cas de la *fig.* 84.

Des considérations analogues font voir que les fonds des vases de toutes les formes (voyez *fig.* 87, 88 et 89) supportent, lorsqu'ils sont égaux en surface et situés à la même profondeur verticale au-dessous du niveau du liquide, des pressions égales; de sorte que pour évaluer la pression que le liquide d'un vase quelconque exerce sur le fond horizontal de ce vase, il faut toujours compter la hauteur verticale de la colonne de liquide

sans avoir égard à sa longueur. C'est pour cela que nous avons recommandé (*pag.* 69) de donner, lorsqu'on veut mesurer la colonne barométrique, une position bien verticale à l'instrument.

Ces faits résultent d'ailleurs d'une expérience facile à faire : *abc* (*fig.* 91) est un tube recourbé, dont la petite branche *ba* se termine en *a* par une vis; en cet endroit, son diamètre intérieur est égal à celui du fond des vases représentés par les *fig.* 84, 85, 86, 87, 88 et 89.

On visse successivement en *a* des modèles de ces différens vases dépourvus de fond; puis on verse de l'eau, ou un liquide quelconque, jusqu'à ce qu'il s'élève jusqu'en *c* dans la grande branche : il est facile de constater alors, au moyen d'un voyant qui glisse le long d'une règle verticale et peut tourner dans un plan horizontal, que le niveau est le même dans les deux vases. Or, la pression transmise par le liquide de la grande branche à la petite couche qui se trouve en *a* est toujours la même, puisque les circonstances ne changent pas; elle s'exerce de bas en haut et soutient l'eau contenue dans le vase adapté à l'extrémité de la petite branche, quelle que soit la forme de ce vase. Cette eau exerce donc dans tous les cas sur la petite couche qui se trouve en *a* et qui remplace ici le fond du vase, la même pression, c'est-à-dire, une pression capable de faire équilibre à celle qui est transmise par le liquide de la grande branche.

Cette expérience se nomme l'expérience des vases communiquans : on voit que les diamètres de deux vases entre lesquels il y a communication, n'influent nullement sur le niveau du liquide dans ces vases. Ceci est une conséquence de ce que la pression transmise à la partie inférieure du liquide ne dépend que de la hauteur verticale du niveau; car, lorsqu'il y a équilibre, la pression transmise par le liquide contenu dans chaque vase, au liquide qui occupe le canal de communication, doit nécessairement avoir la même intensité (ce canal est ici supposé horizontal), ce qui exige évidemment que le liquide s'élève au même niveau dans les deux vases.

Les pressions sur les parois latérales sont aussi dépendantes uniquement de la hauteur verticale du niveau : la couche *turs*, par exemple (*fig.* 86), est comprimée, d'après ce que nous avons dit précédemment, en raison de la profondeur à laquelle elle se trouve au-dessous du niveau; elle exerce sur la paroi latérale, à l'endroit où elle la touche, une pression égale à sa tension, et par conséquent égale au poids d'une colonne de liquide qui aurait pour hauteur celle du niveau (abstraction faite de la pression atmosphérique). Pour s'en faire une juste idée, il faut concevoir les parties *tu*, *rs* de la paroi latérale couchées horizontalement, et chargées chacune d'une colonne de liquide s'élevant aussi haut que le niveau du liquide : la pression qu'elles supporteraient alors serait la même.

Dans les cas où les liquides dont on veut comparer les pressions sont différens, il faut tenir compte de leur densité en même temps que de la hauteur du niveau; les pressions dépendent alors de la hauteur verticale de la surface du liquide et de la densité, et elles sont évidemment proportionnelles à ces quantités : ainsi, le fond d'un vase cylindrique vertical, serait également pressé par une colonne de mercure de $0^m, 1$, et par une colonne d'eau de $1^m, 35$, puisque la densité du mercure est treize fois et demie celle de l'eau. Ceci explique l'expérience très-connue du siphon renversé : On verse du mercure dans la petite branche et de l'eau dans la grande branche, on mesure ensuite la hauteur verticale de la colonne d'eau, puis la hauteur du niveau du mercure dans la petite branche au-dessus de son niveau dans la grande branche; la première est toujours 13 fois $\frac{1}{2}$ la seconde. Cet appareil est tout-à-fait comparable au baromètre à siphon, dont on peut concevoir la petite branche prolongée jusqu'au sommet de l'atmosphère; la colonne d'air qui s'y trouverait contenue remplacerait la colonne d'eau de l'expérience précédente. Il semble, d'après cela, qu'il est facile de calculer la hauteur de l'atmosphère, qu'il suffit d'établir la proportion :

$$x : 0^m, 76 :: 13, 5 : 0, 0013,$$

dans laquelle x désignerait la hauteur de l'atmosphère, 0^m, 76 celle de la colonne barométrique, 13, 5 la densité du mercure, et 0,0013 celle de l'air; mais la hauteur, ainsi obtenue et qui est 7892 mètres ou une lieue $\frac{3}{4}$ environ, se trouve beaucoup au-dessous de la réalité, parce qu'elle repose sur l'hypothèse que la colonne d'air conserve dans toute sa hauteur la même densité qu'à la surface de la terre, ce qui n'est pas. La densité de l'air diminue, au contraire, assez rapidement en allant du bas vers le haut, parce que le poids de l'air supérieur diminue alors de plus en plus.

L'influence de la densité des liquides sur les pressions, est la cause à laquelle on doit attribuer les positions relatives que prennent entre eux les liquides dont les poids spécifiques sont différens : on sait qu'ils se placent de manière que les plus denses occupent toujours la partie inférieure des vases ; nous citerons à ce sujet l'expérience du passe-vin. On remplit d'abord de vin la cavité inférieure A du vase de la *fig.* 92, puis on verse de l'eau dans la partie supérieure B, qui est séparée de la première par un étranglement ayant environ une ligne et demie de diamètre; on voit aussitôt le vin s'élever en une petite colonne qui vient à la surface, l'eau descend, au contraire, et va occuper le fond du vase. D'après les principes que nous avons posés précédemment, rien de plus facile que l'explication de cet effet : au moment où on verse l'eau, la secousse produite force la surface mn du vin à s'incliner d'un côté ou d'un autre (les surfaces liquides ne sont d'ailleurs jamais mathématiquement planes), par exemple, à prendre la position $m'n'$; il en résulte qu'une couche horizontale, telle que ef, ne sera pas également pressée dans toute son étendue, le liquide qui se trouve en c et en d ayant à supporter les poids de deux colonnes égales en hauteur, mais dont l'une est composée de vin en plus grande partie que l'autre. L'équilibre ne pourra donc subsister ; le liquide c se laissera comprimer par le liquide d, dont la tension est plus grande ; son volume diminuera et donnera place à une partie du liquide d, partie qui sera remplacée elle-même par le liquide

supérieur, de sorte que la colonne $dn'k$ s'abaissera un peu. Puis le liquide c réagissant soulèvera la colonne $cm'l$; le vin s'élèvera ainsi d'une petite quantité en m' dans la cavité B, tandis que l'eau descendra d'une petite quantité en n' dans la cavité A ; quant aux sommets l et k des colonnes, il est évident qu'ils ne peuvent rester beaucoup au-dessus ou au-dessous du niveau général. Cet effet produit, la tension du liquide d l'emportera encore davantage sur celle du liquide c, puisque la différence entre les colonnes de vin sera accrue; les mêmes forces produiront encore les mêmes effets, et on voit pourquoi une colonne de vin va monter en m', tandis qu'une colonne d'eau descendra en n'.

Pour rendre l'expérience plus surprenante, on peut faire la partie A en plomb ou en toute autre matière opaque, la remplir de vin préalablement, verser de l'eau en B, puis couvrir l'appareil : en le découvrant après quelque temps, on trouve du vin au lieu d'eau, et on a ainsi l'apparence d'une transformation.

Presse hydraulique. Bramah, mécanicien très-habile, a mis à profit la propriété qu'ont les liquides de transmettre sans perte les pressions dans tous les sens, pour opérer des pressions très-considérables au moyen d'un effort assez faible. L'appareil dont il est l'inventeur est connu sous le nom de presse hydraulique. La *fig.* 93 en représente une section transversale, et la *fig.* 94 une élévation verticale longitudinale. Des lettres en désignent les diverses parties (1) : *aaaa*, charpente de la presse, solidement assemblée par des boulons en fer forgé, avec des écrous. — *b*, cylindre travaillant, que l'on visse sur un fond de fer coulé. — *c*, piston travaillant, dont le mouvement alternatif, suivant une ligne verticale, produit l'action de la presse. — *dd*, plateau support en fer coulé, sur lequel sont placés les objets soumis à la presse.

(1) Description tirée de la mécanique de M. Ch. Dupin.

— *e*, épaulement tourné dans le cylindre travaillant, pour recevoir un double cuir *x*, *x*, *x*, tendu par un anneau de métal; ce qui rend tout à fait hermétique la jonction du piston travaillant avec son cylindre. — *f*, noix forée et vissée dans le haut du cylindre. Le piston glisse à travers cette noix qui retient le double cuir avec son anneau extenseur. Dans la partie supérieure de la noix, le canal est évasé circulairement, et rempli d'étoupe ou de toute autre garniture également douce, imprégnée d'huile et retenue par un mince rebord. Cette garniture sert à la fois à fournir d'huile le cylindre, et à prévenir l'introduction d'aucune substance qui pourrait endommager la surface du piston. — *g*, tube conducteur, qui forme la communication entre le cylindre travaillant et le cylindre d'injection. Le bout *g'* de ce tube est vissé fortement à une ouverture conique au bas de la paroi du cylindre travaillant. A l'autre bout *g'* du même tube est un renfort pressé, par le moyen d'une noix forée, contre un épaulement quarré, dans la paroi de la pompe d'injection, et rendu étanche par l'interposition d'un collier de cuir. — *h*, *une valve* ou soupape, dont le clapet ne tient à rien, et a la forme d'un clou à tête ronde et plate, ouvre et ferme la communication entre le cylindre injectant et le cylindre travaillant. Au-dessus de cette valve est une petite vis qui sert à régler l'élévation du clapet. En détournant cette vis, on peut retirer le clapet toutes les fois qu'on le juge nécessaire. — *i*, citerne ou réservoir rempli d'eau. — *k*, bouchon conique fermant l'entrée du réservoir. En ôtant ce bouchon, l'eau peut être sucée extérieurement à l'aide d'un petit tube ou siphon. Au moyen d'un tube ou d'un entonnoir, on remplit ce réservoir avec la même facilité. — *l*, valve contenue dans une noix vissée au fond du cylindre injecteur : l'ascension du clapet de cette valve est réglée par une petite clavette qui en traverse la queue. — *n*, piston injectant, dont le bas est solide et tourné en cylindre parfaitement circulaire. La tige de ce piston présente à son milieu une longue mortaise *n' n''*, traversée par l'essieu d'un levier

p, fixe d'un bout, et de l'autre offrant une poignée pour y appliquer la main motrice. L'extrémité supérieure *n'''* de la tige de ce piston, est un cylindre en relief qui traverse un cylindre creux de même diamètre, dont le support est fixé à la traverse supérieure de la charpente. L'ascension du piston est réglée par un renfort à la base du cylindre en relief, et par une noix vissée à la partie supérieure de ce cylindre. — *o*, noix forée que traverse le piston injectant, et qui, en se vissant, fait joindre les deux cuirs avec l'anneau métallique posé entre eux et le bas d'un épaulement pratiqué dans le corps du cylindre d'injection : on rend de la sorte hermétique la jonction entre le cylindre et le piston injectant. La partie supérieure de cette noix est évasée circulairement pour servir de réservoir à l'huile. — *p*, levier moteur, ou manche de la pompe. — *q*, robinet de décharge. C'est un cylindre creux vissé contre la base de la charpente. Un manche *r* est fixé au bout du cylindre en relief; l'autre bout est à vis, terminé en cône et se vissant dans un épaulement conique, à travers la paroi de la pompe d'injection. Lorsque cette vis ne serre pas, elle ouvre la communication entre le cylindre travaillant et le réservoir; mais si la vis est tournée et rendue à son point, elle ferme exactement le passage. On tourne le robinet *q*, à droite pour fermer, et à gauche pour ouvrir.

Il est facile d'entendre l'action de la presse. Supposons que le cylindre travaillant et le cylindre injectant soient remplis d'eau, ainsi que le tuyau conducteur qui les réunit; supposons, en outre, qu'une eau supplémentaire soit introduite dans le réservoir. Si l'on élève le piston injectant, l'eau monte du réservoir dans le cylindre d'injection à travers la valve *l*. Quand le piston descend, la valve *l* se ferme; l'eau soulève le clapet *h*; elle entre par le tuyau *g* qui la conduit dans le cylindre travaillant, dont elle élève le piston avec la charge qu'il supporte, et cela proportionnellement à la quantité du fluide injecté. Quand le piston d'injection remonte, le clapet *h* se ferme, et prévient le retour

du fluide accumulé dans le cylindre travaillant. On empêche ainsi le piston travaillant de redescendre avant qu'on donne un nouveau coup de piston d'injection, et l'opération se répète comme elle vient d'être décrite (1).

Lorsque l'effet complet de la presse est produit sur les objets soumis à son action, on ouvre le robinet de décharge, le piston travaillant redescend par son propre poids, et l'eau repasse dans le réservoir par l'ouverture de ce robinet.

Il est facile de calculer la force de la machine : supposons que l'effort qu'on y applique soit de 100 kilog., que le grand bras du levier soit 10 fois plus long que le plus court, la pression exercée par le piston d'injection sur l'eau qu'il touche sera 1000 kilog.; la force expansive de l'eau s'accroîtra de manière à faire équilibre à cette nouvelle pression. Il est évident, d'après cela, que si la base du piston travaillant égalait celle du piston d'injection, elle éprouverait de bas en haut une pression de 1000 kilog., et que si elle était 50 fois plus étendue, chacune des 50 parties dans lesquelles on pourrait la concevoir partagée, supporterait une pression de 1000 kilog.; de sorte que la force de la machine serait alors de 50000 kilogrammes.

Tubes capillaires. Nous devons parler maintenant d'une classe très-importante de phénomènes, qui font exception aux règles que nous venons d'établir; nous allons d'abord exposer les faits, ensuite nous en donnerons l'explication.

---

(1) Il faut entretenir la presse dans une extrême propreté, remplir le réservoir avec de l'eau pure, enfin oindre le piston travaillant avec la meilleure huile douce. Par la simplicité de sa structure, la presse est fort peu sujette à se déranger; mais, si quelque corps étranger s'attache à l'une des valves, le jeu de cette valve sera nécessairement interrompu, jusqu'à ce que le corps étranger soit enlevé. On peut en tout temps examiner la valve *h*, en retirant la vis qui la recouvre. On peut également examiner la valve de décharge *q*, en dévissant. Pour inspecter la valve *l*, la pompe doit être entièrement démontée; mais cela ne peut être que rarement nécessaire.

1°. Lorsqu'un corps quelconque plongé dans un liquide est mouillé par ce liquide, aux endroits où le contact a lieu le liquide s'élève le long des parois et prend une forme concave (*voyez* la fig. 95 qui représente la section d'un vase rempli d'eau, et dans lequel est plongée une lame de verre.)

2°. Lorsque le liquide ne mouille pas, il s'abaisse vers les parois du corps immergé et prend une forme convexe (*voyez* la fig. 96 qui représente la section d'un vase rempli de mercure, et dans lequel est plongée une lame de verre.)

3°. Si on plonge dans un liquide l'extrémité d'un tube susceptible d'être mouillé, ce liquide s'y élève, lorsque le diamètre en est très-petit, et l'élévation est d'autant plus grande que le diamètre est plus petit. Dans un tube ayant un diamètre double, l'élévation n'est que la moitié, et, en général, elle est en raison inverse du diamètre. Cette loi résulte des expériences dont les moyennes sont contenues dans le tableau suivant :

Noms des substances.	Densité.	Température en dégrés centigrades.	Élévation dans un tube dont le diam. = 1mm,2944.	Élévation dans un tube dont le diam. = 1mm,9038.	Élévation dans un tube dont le diam. = 10mm,508.
Eau.....	1	8 , 5	23mm,1634 élévat	15,5861 élév.	»
Alcohol...	0,8196	8°	9, 1823 *id.*	6,4012 *id.*	»
Id.	0,8595	10°	9, 301 *id.*	»	»
Id.	0,9415	8°	9, 997 *id.*	»	»
Id.	0,8135	16°	7, 078 *id.*	»	0,3835
Essence de térébenthine....	0,8695	8°	9, 8516 *id.*	»	»

Les diverses quantités sont prises aux températures indiquées dans la troisième colonne, et elles sont exprimées en prenant pour unité la densité de l'eau à la même température.

Pour faire ces expériences, il faut d'abord faire passer dans

les tubes des acides ou de l'alcohol, pour enlever les matières qui pourraient se trouver adhérentes à leurs parois; puis on les lave parfaitement, et on les sèche. Une colonne de mercure doit y être introduite, afin d'en déterminer le diamètre; on en mesure la longueur l, on pèse le tube pendant qu'elle en occupe une partie, et, en retranchant le poids du tube vide, on a le poids p de ce mercure. Il est facile (*voyez* la note de la *pag.* 139) de conclure le volume du poids; et en le divisant par la longueur l, on a la base circulaire de la petite colonne de mercure, puisque son volume égale le produit de sa base par sa longueur; divisant ensuite par $\frac{11}{14}$, et extrayant la racine carrée du quotient, on obtient à peu près le diamètre cherché. Cela fait, il ne reste plus qu'à mesurer la hauteur à laquelle le liquide s'élève; pour y parvenir, M. Gay-Lussac se sert de l'appareil représenté par la fig. 97. PP est une large éprouvette montée sur un pied à vis calantes, afin que, par ce moyen, on puisse en rendre le bord supérieur exactement horizontal.; N N′ est le niveau du liquide qu'elle contient; le tube capillaire T S M est monté sur une plaque en cuivre Q Q′, qui se pose sur le bord de l'éprouvette; il peut monter ou descendre au moyen d'une coulisse verticale C. L est une lunette horizontale qui peut glisser à frottement le long de la règle verticale R, ou être mue par une vis de rappel; elle est placée à peu de distance de l'éprouvette. Pour mesurer la hauteur S M de la colonne de liquide élevée dans le tube, on amène d'abord la lunette dans une position telle que le sommet de cette colonne paraisse sur le prolongement de son axe optique; ensuite, écartant la plaque Q Q′ vers le bord de l'éprouvette, on met à côté d'elle la pièce A A′, et, après l'avoir ajustée, on tourne la tige à vis G jusqu'à l'instant où elle effleure la surface M du liquide. On enlève alors un peu de liquide par un moyen quelconque; puis, notant le point de départ de la lunette, on la fait descendre jusqu'à ce que la pointe de la tige soit sur le prolongement de son axe : l'étendue de sa course est la hauteur qu'on veut mesurer.

4°. La hauteur de la colonne liquide qui peut ainsi rester soutenue dans le tube, est indépendante de l'épaisseur des parois du tube, et de son diamètre au-dessous ou au-dessus du point où elle se termine (voy. *fig.* 98).

5°. Entre deux lames très-rapprochées, les liquides qui mouillent s'élèvent aussi au-dessus de leur niveau, et l'élévation est la même que dans un tube dont le rayon égalerait la distance des deux lames ; elle est par conséquent aussi en raison inverse de cette distance (voy. *fig.* 99).

6°. L'élévation du liquide est indépendante de la nature chimique du tube ou des lames, pourvu qu'il les mouille dans toute leur étendue.

7°. Une goutte de liquide étant introduite dans un tube conique qu'elle mouille, ou entre deux lames inclinées et très-rapprochées, se porte vers le sommet du cône ou vers l'intersection des deux lames.

8°. Les liquides qui ne mouillent pas, ou, ce qui est la même chose, qui n'adhèrent pas aux parois du tube ou des lames, restent entre ces parois au-dessous de leur niveau, et leur abaissement est d'autant plus grand, que le diamètre du tube ou la distance des lames est plus petit.

Pour constater les faits relatifs aux tubes qui ne sont pas mouillés, on peut plonger des tubes de verre dans du mercure, marquer sur le tube le niveau extérieur, fermer avec le doigt l'ouverture inférieure, puis l'enlever, il est facile de mesurer alors la dépression ; ou bien on peut employer des siphons renversés ayant une branche d'un large diamètre et l'autre branche d'un diamètre assez fin : la différence du niveau entre les deux branches fait voir l'effet du tube capillaire (voy. *fig.* 100). Le même moyen pourrait être employé dans le cas où le liquide mouille.

9°. Une goutte de liquide étant introduite dans un tube conique qu'elle ne mouille pas, ou entre deux lames inclinées et très-rapprochées, s'éloigne du sommet du cône ou de l'intersection des lames.

L'explication du premier fait se présente d'elle-même.

L'élévation du liquide vers les parois du corps mouillé est due à l'attraction de la partie de ce corps située au-dessus du liquide. Le second fait se conçoit aussi très-facilement; il a lieu lorsque le liquide ne mouille pas; ce qui suppose que l'attraction du liquide pour ses propres parties l'emporte sur l'attraction du liquide pour le corps plongé, puisqu'en soulevant ce corps la séparation a lieu entre sa surface et celle du liquide, et non, comme dans le cas précédent, entre une couche de liquide adhérente au corps plongé et une couche contiguë. D'après cela, l'influence du corps plongé doit être faible, et la forme convexe que prend alors le liquide ne peut lui être attribuée; elle est due à l'attraction des diverses parties du liquide les unes sur les autres, force qui tend à le rapprocher de la forme sphérique, ainsi qu'on peut s'en convaincre en mettant sur un corps gras une goutte d'eau, ou dans un vase de verre une goutte de mercure: en écrasant un peu la goutte de mercure par une pression sur son sommet, puis faisant cesser ensuite la pression, on la voit se relever et reprendre sa forme, malgré l'attraction de la terre qui s'y oppose. Il est facile, au reste, d'expliquer cette tendance. Supposons qu'une petite masse liquide ait une forme différente de la forme sphérique, par exemple, celle que représente la *fig.* 101, et, pour plus de simplicité, faisons abstraction de la pesanteur qui, à la vérité, modifie plus ou moins les effets dans les circonstances ordinaires. Le liquide situé en *a* sera comprimé par la force avec laquelle le liquide *ba* attire *ca*; il le sera de la même manière par l'attraction que *ga* exerce sur *ea*, *ga* égalant *ab*, et *ea* égalant *ac*; mais l'attraction de *dg* sur *af*, et celle de *ef* sur *da*, se joignant à cette dernière force, la petite particule *a* sera plus comprimée dans le sens *df* que dans le sens *bc*: elle se dilatera donc dans ce dernier sens; ainsi l'équilibre ne pourra subsister. Nous avons pris le point *a* de manière que *ad* et *af* surpassent *ab* et *ac*. Dans une sphère il n'existe pas de pareil point, et cette forme est évidemment la seule qui soit dans ce cas; aussi l'équilibre

ne s'établit que lorsque le liquide a pris cette forme, à moins qu'il n'existe des obstacles ou d'autres forces que l'attraction mutuelle des molécules les unes sur les autres.

Si nous considérons maintenant l'action d'un tube mouillé sur le liquide dans lequel il est plongé, l'action du verre sur l'eau, par exemple, l'attraction de ses parois soulèvera une colonne de liquide dans son intérieur, non pas qu'elle agisse jusque sur le liquide qui se trouve au milieu du tube, elle ne s'exerce au contraire avec une intensité remarquable qu'à une distance très-petite, puisque l'épaisseur du tube est indifférente; mais elle fait monter le liquide qui se trouve auprès des parois, de manière à élever, pour ainsi dire, un tube concentrique; ce tube liquide en élève un autre un peu plus petit, et ainsi jusqu'à l'axe du tube. L'ascension cesse lorsque le poids de la colonne élevée fait équilibre à la force avec laquelle le premier tube liquide, celui qui est élevé par le verre, attire le second; une colonne un peu plus haute séparerait ces deux tubes, mais elle ne séparerait pas le premier tube liquide du tube de verre, puisque l'eau mouille cette substance : on voit déjà pourquoi l'élévation est indépendante de la nature chimique du tube (6°).

Maintenant, l'attraction des petites quantités de matière que nous avons à considérer ici n'étant sensible qu'à des distances très-petites, l'action par laquelle le premier tube liquide tend à élever le second, se réduit uniquement à celle d'un anneau faisant partie de ce tube, ayant pour hauteur la plus grande distance à laquelle l'attraction est encore sensible, et situé immédiatement au-dessus de l'extrémité supérieure du second tube liquide. Or, l'attraction de cet anneau étant évidemment proportionnel à son volume, lequel est lui-même proportionnel à la circonférence du tube ou à son diamètre, on aura :

$$A : a :: D : d,$$

en désignant par A l'attraction, et par D le diamètre d'un premier tube, et par a et d les quantités analogues relatives à un second tube. Les poids des colonnes soulevées étant

d'ailleurs proportionnels à l'attraction et à leurs volumes, qui sont eux-mêmes proportionnels aux produits des hauteurs H et h de ces colonnes par les carrés de leurs diamètres, on a encore la proportion :

$$A : a :: HD^2 : hd^2,$$

qui, comparée avec la précédente, conduit à cet autre :

$$D : d :: HD^2 : hd^2;$$

d'où on conclut $HD = hd$, ou bien :

$$H : h :: d : D.$$

Ainsi se trouve expliquée la loi à laquelle conduit l'expérience, (*voyez* 3°.).

La comparaison de la hauteur H de la colonne de liquide qui s'élève entre deux lames situées à une distance D, avec celle h de la colonne de liquide qui s'élève dans un tube ayant pour diamètre d, n'offre pas plus de difficulté. Pour limiter ces lames, nous supposerons leur largeur égale à la demi-circonférence du tube : leur action dépendant uniquement de l'attraction de deux petites bandes prises dans chacune des deux lames liquides élevées par le verre, ayant pour hauteur la plus grande distance à laquelle l'attraction est sensible, eu égard à la petitesse des quantités de matière, et situées immédiatement au-dessus du sommet de la seconde lame liquide, on conçoit facilement qu'elle doit être la même que celle du tube. Il suit de là que les quantités de liquides soulevées seront les mêmes, c'est-à-dire qu'on aura, en désignant par r le rapport de la circonférence au diamètre,

$$\frac{rdDH}{2} = \frac{rd^2h}{4},$$

ou, en simplifiant,

$$DH = \frac{dh}{2},$$

ce qui revient à la proportion suivante :

$$H : h :: \frac{d}{2} : D.$$

Ainsi les hauteurs sont entre elles en raison inverse du rayon du tube et de la distance des deux lames; et pour que les hauteurs soient égales, il faut que le rayon du tube égale la distance des deux lames : c'est ce que confirme l'expérience, (*voyez* 5°.).

La *fig.* 102 représente un tube dans lequel il semble d'abord que le liquide ne devrait pas être soutenu aussi haut que dans un tube cylindrique; mais il est facile de voir la raison pour laquelle l'attraction peut soutenir une colonne d'égale hauteur dans les deux cas : cela vient de ce que la colonne cylindrique *abcd* étant soutenue par l'action du tube, le reste du liquide l'est nécessairement par la pression atmosphérique, comme le mercure dans le baromètre, (*voyez* 4°.).

Le mouvement des gouttes de liquide dans les tubes coniques, ou entre les lames inclinées, est un effet des forces que nous avons déjà examinées. Si le liquide mouille, la force d'attraction étant plus efficace quand les espaces sont plus petits, le liquide doit se rapprocher du sommet du cône ou de l'intersection des lames (7°.); si le liquide ne mouille pas, la goutte tendant à prendre la forme sphérique (*pag.* 235), l'effort qu'elle fait l'éloigne du sommet du cône ou de l'intersection des lames, jusqu'à ce qu'elle parvienne en une partie du tube où le diamètre soit égal au sien, et, dans le cas des lames, jusqu'à ce qu'elle atteigne un endroit où leur distance soit égale à son diamètre.

L'abaissement du mercure, et en général de tout liquide qui ne mouille pas, au-dessous de son niveau dans les espaces très-petits, est dû à la tendance qu'ont les liquides vers la forme sphérique, tendance qui n'est plus entièrement détruite, comme lorsque le liquide mouille, par l'attraction des parois. On voit dans la *fig.* 103 une section d'un tube de verre plongé dans du mercure; il est facile de concevoir que les diverses parties du liquide ayant les unes sur les autres une action en vertu de laquelle elles tendent à la forme sphérique, (*voyez* pag. 235), le liquide *ba b'a'* doit s'opposer à l'élévation du liquide dans l'espace *bb'cd*; car rien ne diffère plus de la

forme sphérique qu'une pointe bcb' s'élevant au-dessus de la surface $ab\ b'a'$: l'élévation ne peut donc être aussi grande que si le liquide du tube était soumis uniquement à la pression transmise par les colonnes voisines ; c'est pour cela qu'il se tient dans le tube au-dessous de son niveau extérieur. C'est pour la même cause qu'un vase en fer percé d'une multitude de petits trous très-fins, peut, malgré cela, contenir du mercure.

Les effets d'un tube capillaire ne sont pas indépendans de la nature du liquide, puisque la forme des atomes et la densité peuvent faire varier l'attraction du premier tube liquide sur le second, et le poids de la colonne ; aussi ne doit-on pas être surpris de voir les différens liquides s'élever à des hauteurs différentes dans le même tube quand ils le mouillent, ou s'abaisser de quantités différentes quand ils ne le mouillent pas.

C'est par une action capillaire que l'eau est élevée au sommet d'un tas de sable ou d'un morceau de sucre dont elle baigne le pied seulement ; c'est aussi la même cause qui fait qu'un linge se mouille dans une grande étendue, quoiqu'il n'y en ait qu'une petite partie plongée dans l'eau. Les espaces compris entre les grains de sable ou les filamens dont le linge est composé, sont autant de petits tubes tortueux, dont l'action peut s'expliquer comme nous l'avons fait précédemment pour les tubes de verre. Les effets de ce genre sont très-multipliés dans la nature, ils présentent une grande variété ; mais il est toujours facile de s'apercevoir qu'ils dépendent de l'attraction que les diverses parties des solides et des liquides exercent les unes sur les autres.

Lorsque les lames ou en général les corps plongés sont mobiles, on observe encore, outre l'élévation ou l'abaissement du liquide, un mouvement de translation horizontal qui varie suivant les cas. Si les corps plongés ne sont pas mouillés, ou s'ils le sont tous deux, alors ils se rapprochent l'un de l'autre ; si l'un des deux seulement est mouillé, ils se tiennent au contraire éloignés l'un de l'autre, comme s'ils se repoussaient.

L'explication de ces nouveaux faits est facile à concevoir,

en remarquant qu'ils ne se produisent qu'autant que les corps immergés sont assez rapprochés pour que les courbures déterminées par leur présence se pénètrent, pour ainsi dire, mutuellement, de manière à présenter les aspects des *fig.* 104, 105 et 106. Dans le cas où le liquide ne mouille que l'un des corps plongés, si on les rapproche l'un de l'autre, le corps non mouillé se trouve comme sur un plan incliné, puisque la surface du liquide s'élève obliquement vers les parois du corps mouillé; et si ensuite on les abandonne, le corps non mouillé, en vertu de son poids, chasse le plan incliné, et par conséquent le corps mouillé, en même temps qu'il descend le long de ce même plan incliné : c'est pour cela que les deux corps paraissent se repousser. (Voy. la *fig.* 107 qui représente une balle de plomb et une balle de fer posée sur du mercure).

Dans le cas où le liquide ne mouille aucun des deux corps, il se tient entre eux, au-dessous de son niveau général. La *fig.* 106 représente deux lames de verre plongées dans du mercure; c'est un exemple du cas qui nous occupe. On voit clairement, à la seule inspection de la forme que prend alors le liquide, que ces deux lames sont pressées sur les faces *ab* et *cd* par des colonnes liquides plus élevées que celles qui pressent les faces *ef* et *gh*; cette pression est la cause qui les porte l'une vers l'autre.

Le rapprochement dans le cas où les deux corps sont mouillés, s'explique aussi très-facilement; la forme que prend alors le liquide est représentée dans la *fig.* 104. Le liquide élevé entre les deux lames a une tension moindre que la pression atmosphérique; car la couche *ab*, par exemple, supporte de bas en haut la pression atmosphérique transmise par le liquide, moins le poids de la colonne *abmn* qui lui fait en partie équilibre, et elle est nécessairement pressée avec la même force de haut en bas, puisqu'elle reste en repos. Il résulte de là évidemment que les lames sont plus pressées sur les faces *ef*, *gh*, que sur les faces *cm*, *dn*; et telle est la cause qui les porte l'une vers l'autre, quand rien ne s'y oppose.

Principe d'Archimède. Le principe d'hydrostatique découvert par Archimède, repose sur celui de la transmission des pressions; il consiste en ce que les corps sont poussés de bas en haut, lorsqu'ils sont plongés dans un fluide, avec une force égale au poids du fluide qu'ils déplacent. Pour le démontrer, il faut concevoir pour un moment le corps remplacé par du fluide; ce fluide restera en repos. Par exemple, nous pouvons considérer une masse d'eau d'une forme quelconque au milieu d'un vase qui en est rempli; elle y reste en équilibre: de là nous concluons que le fluide environnant exerce sur cette masse des pressions, desquelles il résulte une action définitive qui la pousse de bas en haut avec une force égale à son poids, puisqu'elle ne monte ni ne descend. Or, que l'espace soit occupé par un corps solide ou liquide, peu importe; cela ne peut changer en rien les pressions dues au liquide environnant. La cause de cet excès des pressions de bas en haut sur les pressions de haut en bas est facile à saisir; il vient de ce que le liquide qui est au-dessous du corps a une plus grande tension que celui qui est au-dessus (*voyez* pag. 67).

On peut aussi faire cette démonstration par l'expérience; il faut pour cela avoir un vase et un corps plus dense que l'eau, qui puisse y être contenu exactement: on pèse le corps en l'attachant avec un petit fil de soie sous le bassin de la balance; ensuite on le plonge dans un réservoir rempli de liquide, d'eau par exemple, et on voit combien il perd de son poids en rétablissant l'équilibre: il est facile de constater ensuite que le poids de l'eau capable de remplir le vase égale la partie de son poids que le corps a perdue, ou la force avec laquelle il est soulevé.

Les mouvemens des corps plongés dans les fluides sont des conséquences de la force qui les pousse de bas en haut, ou de leurs poids: ils ont lieu de bas en haut ou de haut en bas, suivant que la première de ces deux forces l'emporte sur la seconde ou est surmontée par elle; ou bien, ce qui est la même chose, suivant que le corps plongé est moins dense ou plus dense que l'eau. Ainsi, un morceau

de liège ou une goutte d'huile plongés dans de l'eau s'élèvent à la surface, tandis qu'un morceau de plomb tombe au fond.

L'ascension des aérostats est encore due à la même force; ce sont de grands ballons en taffetas gommé remplis de gaz hydrogène : on les environne ordinairement d'un filet qui soutient dans la partie inférieure de l'appareil une petite nacelle dans laquelle un homme peut monter; la nacelle contient aussi un peu de sable. Le gaz hydrogène étant environ treize fois moins dense que l'air, si le ballon est assez grand, le poids total de l'appareil est moindre que celui du volume d'air qu'il déplace; par conséquent il est poussé de bas en haut avec une force plus grande que son poids, et il monte. Quand la personne qui occupe la nacelle veut redescendre, elle ouvre une soupape adaptée au ballon, et laisse perdre une partie du gaz : si elle aperçoit que sa chute puisse être dangereuse, elle jette un peu de sable, elle remonte et descend un peu plus loin. Jusqu'à présent on n'est pas parvenu à diriger les aérostats de manière à pouvoir s'en servir pour voyager; mais la facilité avec laquelle on monte et redescend rend du moins les expériences sur ce sujet beaucoup moins périlleuses.

Corrections à faire aux poids des corps. Les corps dont on veut déterminer le poids sont toujours pesés dans l'air; ce n'est donc pas leur poids exact qu'on obtient ainsi : pour corriger l'erreur, il faut augmenter la quantité trouvée du poids d'un volume d'air égal à celui du corps. Soit x ce poids, p le poids d'un volume d'eau égal à celui du corps, et déterminé comme nous l'avons dit, page 24, $p+x$ est le poids exact d'un volume d'eau égal à celui du corps. Pour déterminer x, il suffit maintenant de se rappeler que la densité de l'air étant 0,0013, le poids x de l'air doit égaler les 0,0013 du poids de l'eau $p+x$, de sorte qu'on a :

$$0{,}0013.\ (p+x) = x,$$

d'où l'on tire :

$$x = \frac{p}{768{,}2}.$$

La valeur de x étant calculée, on l'ajoutera au poids du corps dans l'air, et toute erreur sera ainsi corrigée. Lorsqu'on veut obtenir très-exactement la densité des corps solides, il est indispensable d'appliquer à leur poids trouvé par les moyens ordinaires les corrections que nous venons d'indiquer.

Densités des corps. On a vu page 23 que, pour obtenir la densité d'un corps, il fallait chercher son poids, puis celui d'un même volume d'eau : le principe d'Archimède peut servir à déterminer celui-ci ; il suffit évidemment pour l'obtenir de peser le corps dans l'eau (*voyez* page 241), et de retrancher le poids ainsi trouvé du poids du corps ; la différence sera le poids de l'eau déplacée.

On peut aussi, en pesant le même corps dans l'eau et dans un liquide quelconque, déterminer la densité de celui-ci ; car les pertes de poids que le corps éprouve font connaître les poids d'un volume d'eau et d'un volume du second liquide égaux entre eux, puisque tous deux sont égaux à celui du corps.

Aréomètres. On a imaginé pour les besoins du commerce des instrumens destinés à mesurer approximativement la richesse des liquides qui contiennent en dissolution des matières qu'on veut en extraire ; ce sont de petits tubes en verre ayant la forme que présente la *fig.* 108, et lestés avec un peu de mercure que renferme un petit réservoir placé à la partie inférieure. On leur a donné le nom d'aréomètres : il y en a de deux espèces, les uns servent à évaluer la richesse des dissolutions plus denses que l'eau, les autres celle des dissolutions moins denses ; les premiers se nomment *pèse-sels* ou *pèse-acides*, selon l'usage auquel on les emploie ; les derniers reçoivent le nom de *pèse-esprits* ou *pèse-liqueurs*. La manière de s'en servir est très-simple ; on les met flotter dans le liquide ; ils s'y tiennent verticalement à cause du lest, et on voit, après avoir donné quelques secousses pour que l'instrument prenne malgré le frottement

la position qui convient à l'équilibre, à quel dégré marqué sur l'instrument correspond le niveau de l'eau. Les dégrés s'obtiennent de la manière suivante :

Pour le pèse-sel, on le met flotter dans de l'eau pure, et on marque zéro à l'endroit où la tige de l'instrument est touchée par la surface de l'eau; le poids du liquide déplacé par la partie immergée de l'instrument, est alors égal au poids total de l'instrument : cela résulte du principe d'Archimède. Ensuite on remplace l'eau par un mélange de 85 parties d'eau et 15 parties de sel marin pur et parfaitement desséché; l'instrument s'y enfonce beaucoup moins, parce que la dissolution étant plus dense, un moins grand volume peut avoir un poids égal à celui de l'instrument. On marque 15° à l'endroit de la tige qui correspond au niveau de l'eau; on divise l'espace compris entre ces deux points en 15 parties égales, et on prolonge la division. Cet instrument ne fait point connaître immédiatement la densité, il peut seulement faire savoir si deux liquides dans lesquels on le plonge successivement ont la même densité, ou, si cela n'est pas, lequel des deux est le plus dense; mais, ce qui est plus important, il fait voir immédiatement quelle est à peu près la quantité de sel en dissolution dans l'eau qu'on examine : chaque dégré indique un centième, de sorte qu'un liquide à 17° contient $\frac{17}{100}$ de sel; ceci est une conséquence de la construction de l'instrument. Employé pour d'autres solutions, il ne peut plus servir à en déterminer immédiatement la richesse; mais il est facile de dresser des tables pour chaque cas : ces tables sont tout-à-fait analogues à celle que nous donnerons pour les pèse-esprits.

La graduation du pèse-liqueur n'est pas moins facile à comprendre : on détermine un premier point comme pour le pèse-sel, en le faisant flotter dans de l'eau pure : ce point est le dixième dégré. On marque le zéro à l'endroit de la tige où correspond le niveau du liquide, quand l'instrument flotte dans un mélange de 90 parties d'eau et de 10 parties de sel pur et sec; on divise ensuite l'espace compris entre ces deux points en dix parties égales, et on prolonge la division. Dans

le pèse-liqueur, le zéro est plus bas que le dixième dégré, l'échelle va de bas en haut; c'est le contraire pour les pèse-sels. D'après cela, on voit que les dégrés de cet instrument ne sont proportionnels ni aux densités, ni aux quantités d'alcohol contenues dans les liquides qu'on examine. Lorsqu'on veut le faire servir à connaître les quantités d'alcohol, il faut dresser une table qui indique la correspondance de ces quantités avec les dégrés. Pour cela, on laisse flotter le thermomètre sur une quantité d'eau ayant un poids connu, et on y verse de l'alcohol parfaitement pur, jusqu'à ce que l'instrument indique un dégré voulu; il suffit, pour connaître la quantité d'alcohol versé, de peser le vase dans lequel il est contenu, avant et après l'expérience; et on connaît ainsi la composition du mélange. C'est en faisant un grand nombre d'expériences du même genre, qu'on a dressé la table suivante.

Table pour les pèse-liqueurs de Cartier et de Baumé, dressée pour la température 12°, 5.

DÉGRÉS DE CARTIER.	DÉGRÉS DE BAUMÉ.	MESURES D'EAU MÊLÉES A 100 D'ALCOHOL.
14°	13° 47	359, 67
	14, 00	291, 24
15	14, 53	243, 31
	15, 07	208, 76
16	15, 60	182, 70
	16, 13	162, 18
17	16, 67	146, 95
	17, 20	133, 65
18	17, 73	122, 56
	18, 27	112, 85
19	18, 80	104, 31
	19, 33	96, 93
20	19, 87	90, 15
	20, 40	84, 12
21	20, 93	78, 69

Dégrés de Cartier.	Dégrés de Baumé.	Mesures d'eau mêlées a 100 d'alcohol.
	21, 47	73, 63
22	22, 00	69, 05
	22, 53	64, 72
23	23, 07	60, 67
	23, 60	56, 81
24	24, 13	53, 47
	24, 67	50, 16
25	25, 20	47, 01
	25, 73	44, 03
26	26, 27	41, 22
	26, 80	38, 57
27	27, 33	36, 14
	27, 87	33, 81
28	28, 40	31, 57
	28, 93	29, 46
29	29, 47	27, 42
	30, 00	25, 42
30	30, 53	23, 57
	31, 07	21, 78
31	31, 60	20, 06
	32, 13	18, 40
32	32, 67	16, 86
	33, 20	15, 37
33	33, 73	13, 92
	34, 27	12, 52
34	34, 80	11, 22
	35, 33	9, 93
35	35, 87	8, 67
	36, 40	7, 49
36	36, 93	6, 35
	37, 47	5, 24
37	38, 00	4, 19
	38, 53	3, 15
38	39, 07	2, 20
	39, 60	1, 27
39	40, 13	0, 36
	40, 67	0, 00 alcohol pur.

La seconde colonne contient les dégrés du pèse-liqueur de Baumé ; c'est celui dont nous avons parlé jusqu'à présent. Dans la première se trouvent les dégrés correspondans du pèse-liqueur de Cartier, qui n'en est qu'une contrefaçon. Pour le construire, on détermine d'abord, à la manière de Baumé, le 22ème dégré ; ensuite, au-dessus et au-dessous, on prend 16° de Baumé qu'on divise en 15 parties égales, puis on prolonge la division. Il est facile de conclure de là une formule qui permet de trouver à quel dégré B de Baumé correspond un dégré C de Cartier, ou réciproquement. En effet, supposons que A soit la quantité positive ou négative dont B diffère de 22, on aura :

$$B = 22 + A.$$

C se composera aussi de 22 ; mais si A était 16, à 22 il ne faudrait ajouter pour avoir C que 15 ; et, en général, C sera égal à 22, plus les $\frac{15}{16}$ de A :

$$C = 22 + \frac{15}{16} A.$$

En éliminant A entre ces deux équations, on parvient de suite à la relation :

$$16C = 15B + 22,$$

qui remplit le but proposé.

On peut aussi arriver à des formules propres à calculer les densités d'après les indications des pèse-sels ou des pèse-liqueurs ; mais il vaut mieux employer l'aréomètre de Farenheit ou celui de Nicholson qui les font connaître avec plus d'exactitude et immédiatement. Ce dernier peut même servir à peser les corps solides ; c'est pour cela qu'on le nomme aussi la balance de Nicholson.

L'aréomètre de Nicholson est représenté *fig.* 109 ; on le fait souvent en fer-blanc. G est une pièce qui contient du plomb dans son intérieur ; elle sert à maintenir l'instrument vertical, et est aussi destinée à recevoir en E les corps qu'on veut peser dans l'eau : A est une petite cuvette sur laquelle

on peut placer des poids et les corps qu'on veut peser dans l'air; *b* est un trait fait avec la lime sur la tige B qui soutient la cuvette.

L'usage de cet aréomètre est facile à concevoir. On le fait d'abord flotter dans de l'eau pure au *maximum* de densité, et on ajoute sur la cuvette des poids connus, jusqu'à ce qu'il s'enfonce jusqu'au point *b*; c'est ce qu'on appelle affleurer l'instrument. On ajoute à ces poids celui de l'instrument qui doit avoir été déterminé d'avance au moyen d'une balance très-exacte, et cette somme est égale au poids de l'eau déplacée (*voyez* page 241). En remplaçant ensuite l'eau par un autre liquide, on obtient de la même manière le poids du liquide déplacé par l'instrument, quand il s'enfonce jusqu'au point d'affleurement; et, comme les volumes de liquides déplacés par l'aréomètre, lorsqu'il est affleuré, sont les mêmes, on obtient la densité du second liquide en divisant la dernière somme par la première. Il est presque inutile de faire observer qu'il suffit de faire une fois l'expérience avec de l'eau pure, et que le résultat obtenu peut être employé dans toutes les expériences subséquentes.

Il n'est pas plus difficile de s'en servir pour peser les corps solides et trouver leur densité. L'instrument étant affleuré dans un liquide quelconque, on retire quelques poids de la cuvette, et on les remplace par le corps solide qu'on veut peser; les poids qu'on laisse doivent être tels que l'instrument reste affleuré. Le corps solide produisant le même effet que les poids enlevés, on a ainsi la mesure de son poids. Quand on en cherche la densité, le liquide employé doit être de l'eau pure au *maximum* de densité; s'il en était autrement, il faudrait, après avoir déterminé la densité du corps par rapport au liquide employé, la calculer par rapport à l'eau, au moyen d'une proportion analogue à celle de la page 139, qui nous a déjà servi à résoudre une question semblable.

Pour plus de simplicité, nous supposerons que l'expérience soit faite avec l'eau pure au *maximum* de densité : on cherche

d'abord, comme il a été dit précédemment, le poids du corps, puis on le place en E dans le réservoir inférieur, où on l'attache s'il est moins dense que l'eau (le fil doit être regardé comme faisant partie de l'instrument); les poids qui se trouvent dans la cuvette ne suffisent plus alors pour produire l'affleurement, parce que le corps étant plongé dans l'eau, perd une partie de son poids égale au poids d'un pareil volume d'eau : on ajoute des poids connus pour produire de nouveau l'affleurement; ils représentent évidemment le poids d'un volume d'eau égal à celui du corps. D'après cela, il ne restera plus, pour obtenir la densité cherchée, qu'à diviser le poids du corps par ce dernier poids (*voyez* page 23).

L'aréomètre de Farenheit ne diffère de celui de Nicholson qu'en ce que la pièce G ne s'y trouve pas, et qu'on ne peut par conséquent l'employer pour déterminer la densité des corps solides. Farenheit est l'inventeur de cet instrument, Nicholson en a seulement étendu les usages.

Jets d'eau. Les jets d'eau ordinaires sont dus à ce que le liquide est amené par des tuyaux d'un lieu plus élevé que celui où on lui donne issue dans l'air; cette disposition est représentée dans la *fig.* 110. A est le réservoir qui peut être placé au sommet d'un bâtiment ou sur une montagne; BCDE sont les tuyaux de conduite : E est une mince paroi métallique dans laquelle on a percé un ou plusieurs trous par lesquels l'eau doit s'échapper; elle se nomme platine. Lorsqu'on veut y pratiquer plusieurs trous, on lui donne une courbure plus ou moins grande, et on obtient des jets divergens.

D'après les principes précédemment établis, on conçoit très-facilement pourquoi l'eau jaillit de bas en haut; son mouvement est un effet de la pression transmise de bas en haut au liquide DE par la colonne ABC, et sa vitesse (1)

(1) Voyez les ouvrages de MM. Bossut, Prony.

serait telle qu'il s'élèverait jusqu'en S à la même hauteur que le point de départ, sans l'action de diverses causes qui la diminuent. Ces causes sont : le frottement contre les parois, la résistance de l'air, enfin la chute de l'eau déjà élevée, et qui, en retombant, diminue la vîtesse de celle qui monte. On peut atténuer l'influence de la première, en donnant aux tuyaux de conduite un diamètre assez large pour que la vîtesse de l'eau qui les parcourt soit au plus de 2 ou 3 décimètres par seconde, et en pratiquant dans une paroi très-mince les ouvertures par lesquelles l'eau doit passer dans l'air. Quand les circonstances sont favorables, on admet, d'après les expériences de Mariotte, que, pour obtenir un jet de 5 pieds, il faut une hauteur de réservoir de 5 pieds 1 pouce, et, qu'en général, pour avoir la hauteur du réservoir, il faut à la hauteur h du jet évaluée en pieds, ajouter autant de pouces qu'il se trouve d'unités dans $\frac{h}{5}$ élevé au carré.

Puits artésiens. Les puits artésiens sont des fontaines jaillissantes naturelles qu'on obtient en perçant la terre jusqu'à de grandes profondeurs, au moyen d'un appareil qu'on nomme sonde artésienne. On admet, et cette opinion est très-probable, que les eaux qu'ils fournissent viennent d'un endroit plus élevé, et qu'elles sont amenées entre deux couches de matières impénétrables à l'eau (*voyez* fig. 111. A est l'ouverture du puits, B est le réservoir). Il arrive assez souvent que l'eau s'arrête au-dessous de la surface de la terre, de sorte que tout le travail qu'il a fallu faire pour pratiquer un trou très-profond se trouve alors inutile. On pourra consulter sur ce sujet sur lequel nous ne pouvons donner ici aucun détail, les ouvrages de M. Garnier et de M. le vicomte Héricart de Thury; en les lisant, on pourra aussi acquérir quelque connaissance des chances qu'on a dans chaque pays pour la réussite.

Applications de la tension des gaz. Machine pneumatique. La machine pneumatique est un instrument destiné à enlever l'air ou les gaz contenus dans un vase quelconque; sa forme a varié et a éprouvé des perfectionnemens successifs. La *fig.* 112 représente celle qui était en usage vers la fin du siècle dernier, et les *fig.* 113 à 119 celle qui est employée maintenant; dans tous les cas, ses effets sont dus à la tension des gaz. Nous allons d'abord donner l'explication de ces figures, et indiquer la manière de se servir de ces machines; ensuite nous décrirons quelques-uns des faits les plus intéressans qui ont été observés par leur moyen. Nous commencerons par la machine actuellement en usage.

Fig. 113, 114, 115 *et* 116. Plan, coupe et élévation de la machine pneumatique (1).

Fig. 114. U, cloche ou récipient de verre dans lequel on se propose de faire le vide.

PP, plateau circulaire en cuivre recouvert d'un disque de glace bien uni, et servant de support à la cloche U.

CC, corps de pompe en verre ou en cuivre.

LL′L″L‴, conduit établissant une communication entre la cloche U et le corps de pompe CC. L'une des extrémités L‴ de ce conduit porte un pas de vis extérieur destiné à entrer dans l'écrou du robinet d'un ballon dans lequel on voudrait faire le vide, et l'autre extrémité se termine à son entrée dans le corps de pompe CC par une ouverture conique N.

D, piston se mouvant dans le corps de pompe CC.

Fig. 117. Coupe perpendiculaire du piston D vu plus en grand.

DDDD, rondelles de cuir fortement serrées entre deux plans circulaires de cuivre, et formant le corps du piston.

B, ouverture circulaire pratiquée dans l'axe du piston.

C, clapet métallique, s'ouvrant de bas en haut, et servant à fermer l'ouverture B.

(1) Extrait du traité de chimie de M. Thenard.

C′ C′, *fig.* 116, second corps de pompe de la machine pneumatique, et communiquant, comme le premier, avec la cloche U, au moyen du conduit LL′ L″L‴.

Pour cela, le conduit LL′ L″L‴ se bifurque près des deux corps de pompe au point L, pour se rendre dans l'un et dans l'autre.

D′, piston se mouvant dans le cylindre C′ C.

A′ A, traverse en cuivre sur laquelle sont fixés les corps de pompe CC, C′ C′, et les montans VV, VV.

BB, B′ B, crémaillères portant à leurs extrémités inférieures les pistons DD′.

AA, boîte en cuivre formée de deux pièces assemblées au moyen de vis *aa*, et fixées sur les deux montans VV, VV au moyen de vis KK. Cette boîte est percée de quatre trous, savoir : deux à travers lesquels passent les montans, et deux à travers lesquels passent les crémaillères.

H, roue dentée qui engrène avec les crémaillères BB, B′ B′, et dont l'axe a ses points d'appui sur les deux pièces de la boîte AA.

II, double manivelle servant à faire mouvoir la roue dentée H, et disposée comme on le voit *fig.* 113 et 115.

EE, *fig.* 114 et 115, tige de cuivre traversant à frottement le piston D, et portant à son extrémité inférieure une soupape conique F destinée à fermer l'ouverture N par l'abaissement du piston D, et à l'ouvrir, ou à mettre le conduit LL′ L″L‴ en communication avec le corps de pompe par l'élévation de ce même piston.

G, petit disque de cuivre faisant corps avec la tige EE, et servant à régler le jeu de la soupape F.

Le piston D, *fig.* 116, est traversé par une tige E′ E′ semblable à la tige EE, et remplissant les mêmes usages.

MM, *fig.* 118, robinet principal percé de deux trous : l'un, O, perpendiculaire à son axe, sert à établir la communication entre le corps de pompe CC, C′C′, *fig.* 113, et la cloche U ; l'autre, RR′, parallèle au même axe et légèrement courbe, sert à établir la communication entre

l'air extérieur et la cloche U (*voyez* la position de ce robinet dans le plan).

T, bouchon en cuivre légèrement conique, servant à boucher l'ouverture RR'.

SS, *fig.* 114 et 115, baromètre tronqué appelé *éprouvette*; placé verticalement sur une échelle en cuivre graduée, et recouvert d'une petite cloche en verre. Cette éprouvette communique avec le conduit LL' L''L''' au moyen du robinet X, et sert à indiquer jusqu'à quel point on a fait le vide dans la cloche U.

SS, *fig.* 119, éprouvette vue plus en grand.

ZZZ, pieds en cuivre servant à fixer la machine sur son support.

Lorsque l'on veut faire usage de cette machine pour faire le vide dans la cloche U, on dresse cette cloche, c'est-à-dire qu'on en use et qu'on en polit les bords avec le plus grand soin, afin qu'ils puissent s'appliquer le plus exactement possible sur la platine ou sur le plateau PP; ensuite on enduit ces bords d'un corps gras, tel que du suif, pour en boucher les interstices, ainsi que ceux du plateau; on pose alors cette cloche U, *fig.* 113, sur le plateau, en la pressant avec les deux mains pour rendre le contact le plus parfait possible; on établit la communication entre les corps de pompe et le récipient au moyen du robinet principal M; on établit également, au moyen du robinet X, la communication entre l'éprouvette SS et la cloche U; on fait agir la double manivelle, et au même instant voici ce qu'on observe : lorsque l'un des pistons, par exemple, le piston D, *fig.* 115, s'élève, la soupape F s'ouvre, et le clapet C, *fig.* 117, se ferme; lorsque le même piston s'abaisse, cette soupape F se ferme, et le clapet C s'ouvre : ce qui se passe dans le corps de pompe CC, se passe également dans le corps de pompe C' C'. Il est facile de se rendre compte de tous ces effets. Quand le piston D s'élève, il opère un vide dans le corps de pompe CC, et lève la soupape F, comme nous l'avons dit ci-dessus : il y a alors communication entre le

récipient et le corps de pompe; une portion de l'air du récipient entre donc dans ce corps de pompe. Lorsque le piston D s'abaisse, il ferme la soupape F; par conséquent une portion d'air se trouve comprimée entre le fond du corps de pompe et le corps du piston D; cet air ne pouvant s'échapper par la soupape F qui se trouve fermée, ne peut sortir que par le clapet C, *fig.* 117; il le soulève, et passe, par l'ouverture B du piston D, dans la partie supérieure du corps de pompe; le piston, arrivé au point le plus bas de sa course, se relève et pousse au dehors tout l'air situé au-dessus de lui. En effet, cet air ne peut plus repasser par l'ouverture B du piston, puisqu'elle est alors fermée par le clapet : il est donc obligé de s'échapper par les différentes ouvertures qui servent de passage à la tige EE et à la crémaillère BB; mais en même temps que le piston D se relève et chasse cet air, il se fait de nouveau un vide dans la partie inférieure du corps de pompe; la soupape F s'ouvre, et permet à une nouvelle quantité de l'air du récipient de remplir le vide produit par le piston D. En faisant mouvoir ainsi les pistons, il arrive une époque à laquelle le mercure descend dans la branche fermée, et monte dans la branche ouverte de l'éprouvette, signe qui indique que l'air de la cloche est très-rare; il parvient ainsi peu à peu dans cette dernière branche à la même hauteur que dans la première, à un millimètre près : alors le vide est aussi parfait qu'il est possible de le faire par la meilleure machine connue jusqu'à présent. Cette pression d'un millimètre, qu'il est impossible d'empêcher, est produite par une petite quantité d'air qui reste dans la cloche, ou plutôt par un peu de vapeur d'eau. On s'y prendrait de la même manière pour faire le vide dans un ballon à robinet, si ce n'est qu'il faudrait le visser sur le pas de vis L''' qui termine le conduit LL' L''L'''. Dans tous les cas, il est essentiel d'employer des vases bien secs.

La *fig.* 112 représente une ancienne machine. A est un corps de pompe supporté verticalement par une monture en

bois GF. Un piston plein glisse dans ce corps de pompe; on peut l'abaisser en posant le pied sur l'étrier B qui termine sa tige, ou le soulever avec la main au moyen de la poignée C. A la partie supérieure du corps de pompe est soudé à soudure forte un petit tuyau en cuivre qui est muni d'une clef D; à ce tuyau est vissé un disque parfaitement dressé : les ornemens K,K,K donnent de la stabilité à cette dernière pièce qu'on nomme platine. La clef D est percée de deux trous; l'un qui est perpendiculaire à sa longueur, sert à établir la communication entre les vases posés sur la platine et le corps de pompe; l'autre qui est oblique, et dirigé à peu près suivant la longueur de la clef, peut établir à volonté une communication entre l'extérieur et le corps de pompe, ou entre l'extérieur et le récipient.

Le jeu de cette machine est très-facile à saisir. Le récipient étant placé, quand on abaisse le piston, la clef D est tournée de manière qu'il y ait communication entre le récipient E et le corps de pompe; l'air de ce récipient se répand en vertu de sa tension, de sorte qu'il en passe dans le corps de pompe jusqu'à ce qu'il soit rempli d'air ayant la même densité que celui qui est resté sous le récipient. On tourne la clef pour détruire toute communication avec le récipient et en établir une entre le corps de pompe et l'extérieur; soulevant alors le piston jusqu'au haut du corps de pompe, on en chasse tout l'air, et si sa capacité égalait celle du récipient, celui-ci ne renfermerait déjà plus que la moitié de l'air qui s'y trouvait. En répétant cette opération, on enlèverait encore la moitié de l'air restant, et en continuant ainsi, la cloche se trouverait ne plus contenir, après 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, coups de piston, que $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{32}$, $\frac{1}{64}$, $\frac{1}{128}$ de l'air qui s'y trouvait d'abord; ou bien, en général, le récipient ayant un volume a, et le volume du corps de pompe étant b, après n coups de piston, le récipient contiendrait une quantité d'air qui ne serait plus qu'une fraction $\left(\frac{a}{a+b}\right)^n$ de ce qui s'y trouvait d'abord. On voit, d'après

cela, qu'il est impossible qu'une pompe à air fasse un vide parfait; mais on n'atteint pas même les résultats indiqués par la théorie. Les meilleures machines ne font le vide qu'à $\frac{1}{760}$ à peu près : cela tient à ce que le piston ne chasse pas, quand on le remonte, tout l'air qui se trouve dans le corps de pompe, parce que sa base supérieure ne s'adapte jamais exactement contre le haut du corps de pompe, et que le tuyau ND, quelque étroit qu'on le fasse, en garde toujours une petite quantité.

L'avantage des machines à deux corps de pompes sur les anciennes est incontestable; aussi sont-elles d'un usage général. Outre que dans les anciennes le mouvement de bas en haut est difficile à produire, à cause de la direction oblique de la tige CB, la résistance au mouvement y est aussi plus grande, au moins pendant que le piston descend à la fin de l'expérience, parce qu'il faut alors surmonter la pression atmosphérique. Dans les nouvelles machines le contraire a lieu. La tige de l'un des pistons ne peut se mouvoir sans que la tige de l'autre piston fasse un mouvement contraire: pour que l'une monte, l'autre doit descendre; il faut bien encore, vers la fin de l'expérience, qu'elle surmonte la pression atmosphérique qui s'exerce sur le piston; mais elle est aidée en cela par la même force qui tend à faire descendre l'autre piston, et qui se transmet par le moyen de la roue dentée; ainsi l'effort qu'il faut faire à chaque instant est destiné uniquement à vaincre le frottement des pistons.

Nous nous sommes déjà servi souvent de la machine pneumatique pour prouver diverses propriétés des corps; aussi n'ajouterons-nous qu'un petit nombre d'expériences à celles que nous avons précédemment indiquées :

1°. Sous le récipient de la machine, on introduit une vessie à moitié pleine d'air et fermée de toutes parts, ou une petite bouteille de verre très-mince bien bouchée, puis on fait le vide. Si c'est une vessie, ses parois obéissant à la force expansive de l'air intérieur, on la voit se gonfler de plus en plus, et bientôt elle paraît tout-à-fait pleine. Si c'est une

petite bouteille de verre mince, lorsque l'air est raréfié à un certain dégré, elle crève avec éclat, parce qu'elle se trouve alors très-peu pressée de dehors en dedans, le récipient ne contenant plus qu'un air qui a peu de tension, tandis qu'elle est toujours également pressée de dedans en dehors, l'air intérieur n'ayant pu se dilater.

Cette expérience est l'inverse de celle des hémisphères de Magdebourg, à laquelle la suivante est tout-à-fait analogue :

2.° On pose sur la platine de la machine une cloche, et on y fait le vide; au bouton de cette cloche est attachée une corde qui, après être passée sur les gorges de deux poulies, descend verticalement. Si le récipient est un peu large, on peut suspendre un poids de 50 kilogrammes à l'extrémité de la corde, sans que la cloche se détache de la platine contre laquelle elle est poussée par la tension de l'air qui se trouve au-dessus.

3°. On fait le vide dans un tube AB, *fig.* 120; puis, ayant fermé le robinet R, on plonge l'extrémité D de la monture dans un vase rempli d'eau, et on ouvre le robinet. L'eau s'élève à l'instant par le tube CE, et monte jusqu'au sommet du tube, pourvu qu'il ait une hauteur moindre que 32 pieds. L'explication de ce fait est très-simple : l'ascension de l'eau est due à la pression que l'atmosphère exerce sur sa surface dans le vase MN, pression qui se transmet de bas en haut à la portion de liquide située en F.

4°. On place sous le récipient de la machine une pomme ridée, et on donne quelques coups de pistons; bientôt les rides disparaissent et l'enveloppe se trouve parfaitement tendue. Si ensuite on laisse rentrer l'air dans le récipient, les rides reparaissent et sont même plus prononcées qu'auparavant. Pendant qu'on fait le vide, l'air qui occupe les pores de la pomme se dilate, parce que sa tension l'emporte sur celle de l'air du récipient; il tend l'enveloppe de la pomme, de même que l'air de la vessie en tend les parois dans la première expérience, et les rides disparaissent; mais une partie se dégageant à travers les pores de cette enveloppe, il arrive

que, quand on laisse rentrer l'air, les pores de la pomme sont moins remplis qu'auparavant et les rides par conséquent plus profondes.

5°. La *fig.* 121 représente un récipient qui porte un baromètre ABC ayant un réservoir C, qui peut contenir le mercure de la branche AB. Lorsqu'on pose ce récipient sur la platine de la machine pneumatique et qu'on en fait jouer les pistons, on voit le mercure descendre de plus en plus dans la branche AB, et finir par se mettre de niveau, à quelques millimètres près, avec le mercure qui occupe le réservoir : quand la machine est très-bonne, on parvient quelquefois à n'avoir plus qu'une différence d'un millimètre. Au commencement de l'expérience, l'air qui occupe le récipient a une tension égale à la pression atmosphérique à laquelle il faisait équilibre avant son isolement, et cette tension soutient le mercure dans la branche AB par la pression qu'elle exerce en C; mais à mesure que, par le jeu de la machine, l'air du récipient se raréfie, sa tension diminue, et la colonne de mercure qu'elle peut soutenir devient de moins en moins grande. Dans un vide parfait, le mercure se tiendrait à la même hauteur dans les deux branches; et comme cela n'a pas lieu, on en conclut qu'il reste toujours une certaine quantité d'air dans le récipient, ce qu'il était facile de prévoir (*voyez* pag. 256). On peut même évaluer la quantité d'air qui reste, d'après l'élévation du mercure dans la branche AB au-dessus de son niveau dans la branche CB. Appelons h cette différence exprimée en mètres, et supposons que la colonne barométrique égale $0^m, 76$, et que la température soit 0°; il résulte évidemment de l'expérience de la page 98 que, la température restant constante, la densité d'un gaz est proportionnelle à sa tension; on aura donc dans le cas qui nous occupe :

$$h : 0,76 :: d : 1,$$

d désignant la densité de l'air qui reste, celle de l'air à 0° et sous la pression de $0^m, 76$ étant prise pour unité. De cette proportion on tire :

$$d = \frac{h}{0,76};$$

et on a ainsi la densité de l'air que la pompe n'a pu enlever. Les densités n'étant autre chose que les rapports entre les quantités de matière, lorsque le volume est le même, la fraction $\frac{h}{0,76}$ exprime aussi la quantité d'air qui reste, celle qui remplit le récipient à la température 0° et sous la pression de 0^m, 76 étant prise pour unité.

Dans le cas où la machine est très-bonne, la valeur de h peut n'être que 0^m, 001; on a alors $d = \frac{1}{760}$, ce qui prouve ce que nous avions avancé, page 256, que les meilleures machines ne peuvent faire le vide qu'à $\frac{1}{760}$. Ceci nous fournit un moyen d'effectuer les corrections indiquées au bas de la page 24, et relatives au poids de l'air qui remplit un ballon. Après avoir fait le vide dans le ballon, on évalue la quantité d'air qui reste, comme nous venons de le dire, après avoir consulté l'éprouvette, qui peut dans cette circonstance remplacer le baromètre. Supposons qu'il reste dans le ballon une fraction a de la quantité qu'il peut contenir à 0° sous la pression 0^m, 76, et supposons que cette pression et cette température soient celles de l'atmosphère au moment de l'expérience; désignons d'ailleurs par x le poids cherché, et par p le poids approximatif trouvé, comme il est dit à la pag. 24, on aura évidemment

$$p + ax = x,$$

d'où on conclut la formule:

$$x = \frac{p}{1-a},$$

au moyen de laquelle on déterminera le poids exact de l'air que peut renfermer le ballon dans les circonstances indiquées. Comme ces circonstances peuvent se présenter rarement ensemble, on fait les expériences en tout temps et on corrige

les résultats obtenus au moyen de la formule *(l)*, pag. 136, et de la formule *(m)*, pag. 139.

7°. Une bougie allumée étant placée sous le récipient, s'éteint aussitôt qu'on y fait le vide.

8°. Les animaux périssent plus ou moins promptement, suivant l'espèce, lorsqu'on les place dans un vase d'où on retire l'air; les uns meurent dans l'espace de 30 ou 40 secondes, comme presque tous les oiseaux, les chiens, les chats, les lapins, les souris, etc. D'autres résistent à cette épreuve pendant plusieurs heures, comme les poissons et la plupart des reptiles; la grenouille supporte quelquefois le vide pendant un jour entier sans mourir.

Deux causes peuvent concourir pour priver de la vie des animaux qu'on soumet à cette expérience : la principale, au moins pour les animaux qui vivent habituellement dans l'atmosphère, est la privation d'air; l'autre est la dilatation des gaz qui sont dans les pores de l'animal et jusque dans les liquides qu'il contient dans son intérieur : cette dilatation peut déchirer des vaisseaux et détruire l'ordre des parties. On peut la rendre sensible en mettant un poisson dans un vase rempli d'eau et placé sur la platine de la machine pneumatique qu'on met en jeu après avoir recouvert ce vase d'un récipient : à mesure que le vide s'opère, on voit sortir des gaz de dessous les écailles du poisson, par ses ouïes et par sa bouche; il se tient à la surface de l'eau, et si on laisse rentrer l'air, soit avant, soit après sa mort, son corps qui est devenu plus dense à cause des pertes de gaz, tombe au fond où il reste constamment.

9°. En plaçant sous le récipient de la machine pneumatique un petit vase rempli d'eau qu'on isole avec des cordons, et sur la platine un autre vase contenant de l'acide sulfurique concentré (*voyez* fig. 122), puis faisant le vide, on peut encore produire un phénomène intéressant : l'eau entre en ébullition (*voyez* page 92), une partie se réduit en vapeur et se refroidit à cause de son changement d'état (*voyez* page 39), cette vapeur abaisse par son contact la température du liquide,

et finit par en déterminer la solidification. Toutefois il est nécessaire que le vide soit presque parfait, afin que la formation de la vapeur soit rapide; il faut aussi que l'acide contenu dans le vase AB soit concentré, parce qu'alors son affinité pour la vapeur d'eau est plus grande : il l'absorbe plus promptement, et le récipient se trouve constamment maintenu à peu près vide.

L'usage des alcarazas est fondé sur le même principe; ce sont des vases en terre très-poreuse, dans lesquels on renferme de l'eau qui s'y tient fraîche, parce qu'en s'infiltrant à travers les pores elle en humecte sans cesse les parois extérieures, et fournit ainsi à une évaporation continuelle.

Machine à comprimer l'air. Lorsqu'au lieu de raréfier l'air on se propose de le condenser, d'en introduire dans un vase quelconque une quantité plus grande que celle qui s'y trouve naturellement, on se sert d'une machine qui peut être construite comme la machine pneumatique (*voyez* page 251), à cela près que les soupapes doivent s'ouvrir en sens contraire : le jeu n'en est pas plus difficile à concevoir. Mais comme l'air du récipient a dans ce cas une tension plus grande que celle de l'air extérieur, il faut n'employer que des vases qui se vissent comme les ballons à robinet, et alors la platine de la machine serait inutile, ou bien si on veut se servir de cloches, il faut les séparer de la platine par une peau de chamois, contre laquelle on devra les presser fortement par un moyen quelconque, afin que l'air intérieur ne puisse les soulever.

La pompe de compression étant d'un usage moins fréquent que la machine pneumatique, on la fait ordinairement à un seul corps de pompe. La *fig.* 123 en représente une dont le piston est plein; les deux soupapes sont placées, l'une au bas du corps de pompe et l'autre dans un petit tuyau latéral. La première s'ouvre en dehors du corps de pompe et la seconde en dedans; celle-ci donne entrée à l'air extérieur quand on remonte le piston, elle se tient fermée quand le

piston redescend; la soupape S s'ouvre alors et laisse passer l'air comprimé dans le récipient, sur lequel le corps de pompe doit être vissé. On voit ainsi comment on peut accumuler de l'air dans un vase quelconque, en y adaptant le corps de pompe et faisant jouer le piston. On peut, si l'on veut, supprimer la soupape M et la remplacer par un trou pratiqué dans la partie supérieure de la paroi latérale du corps de pompe. Quoique ce trou reste toujours ouvert, il peut cependant produire le même effet que cette soupape, parce qu'il se trouve tantôt au-dessus et tantôt au-dessous du piston.

Les conditions pour qu'au moyen de cette machine on puisse comprimer l'air autant qu'on veut, sont 1°. que le piston et le corps de pompe soient assez parfaits pour que ce fluide ne puisse passer entre eux, et 2°. que la base du piston s'applique exactement contre la paroi inférieure du corps de pompe. Cette dernière condition n'est jamais parfaitement remplie; il reste toujours un certain espace entre elles, et le jeu de la machine cesse lorsque l'air du récipient est aussi comprimé que celui du corps de pompe pourrait l'être par le mouvement de haut en bas du piston, si les soupapes n'existaient pas et qu'il n'y eût pas d'ouvertures.

La machine de la *fig.* 123 peut encore être employée à comprimer tout autre gaz que l'air; on s'en sert, par exemple, pour comprimer l'acide carbonique dans la préparation des eaux gazeuses artificielles, et forcer ce gaz à se dissoudre en grande quantité dans le liquide qu'on a préparé pour le recevoir. Pour cela on visse en A la monture d'une vessie à robinet, dans laquelle on a introduit le gaz; puis, ayant adapté la pompe au récipient, on fait jouer le piston; et le gaz de la vessie, d'abord aspiré dans le corps de pompe pendant l'ascension du piston, est ensuite refoulé dans le récipient, où il arrive par un tuyau CD, *fig.* 123, qui le conduit presque jusqu'au fond du liquide. Le robinet R est destiné à recevoir le goulot de la bouteille, lorsqu'on veut tirer l'eau après l'opération.

En comprimant de l'air au lieu d'acide carbonique dans le

récipient de la *fig.* 123, puis vissant au lieu de la pompe, après avoir fermé le robinet, des ajutages de différentes formes, on obtient facilement des jets d'eau très-variés, et qui s'élèvent à des hauteurs qui dépendent de la densité de l'air qu'on a refoulé dans la partie supérieure du récipient.

Fusil à vent. Le fusil à vent est une application de la grande tension que l'air acquiert quand on le comprime. Il se compose de trois parties : un réservoir où l'on refoule une grande quantité d'air, et dont l'ouverture est fermée par une soupape à ressort qui peut être ouverte de dehors en dedans ; une batterie dont la détente fait mouvoir une tige qui ouvre la soupape du réservoir pendant un temps très-court ; enfin un canon dans lequel on place la balle ou le plomb entre deux bourres. La crosse peut être creuse et servir de réservoir : on y comprime de l'air au moyen d'une pompe ordinaire, puis on remplace la pompe par la batterie à laquelle on visse aussi le canon après y avoir introduit la charge. Au moment où la détente part, l'air qui s'échappe de la crosse dont la soupape est un instant ouverte passe par un conduit pratiqué à dessein dans la batterie, et se rend ensuite dans le canon d'où il chasse le plomb avec une grande violence. Comme la soupape se referme promptement, tant par l'action du ressort dont elle est munie, que par celle de l'air qui la pousse, on peut tirer plusieurs coups sans faire usage de la pompe ; mais les derniers coups ont toujours bien moins de force que les premiers, de telle sorte que ceux-ci peuvent porter la balle aisément à 70 pas à l'endroit visé, tandis que le huitième coup n'a plus que la force nécessaire pour que la balle puisse percer une planche de chêne épaisse de 6 lignes, à 20 ou 25 pas. D'après cela, on voit que l'usage des fusils à vent n'est pas aussi commode que celui des fusils ordinaires ; et si l'on remarque en outre que la difficulté de les construire et celle de les entretenir long-temps en bon état les rend nécessairement plus chers, on ne sera pas surpris de ce qu'ils sont si peu répandus.

Il est presque inutile de dire que toutes les pièces qui se vissent les unes sur les autres doivent être séparées par des rondelles de cuir imbibées d'huile, afin que l'air ne puisse nullement s'échapper.

Fontaine de Héron. Cet appareil se compose de trois vases GH, AB, EF, *fig.* 124, communiquant entre eux au moyen de trois tubes ouverts par leurs extrémités. Le premier de ces tubes IK part du fond du vase GH, et descend presqu'au fond du vase EF; le second ML est soudé à la paroi supérieure du vase EF, et s'élève presque jusqu'au haut du vase AB; le troisième part de la partie inférieure du vase AB, et s'élève un peu au-dessus du vase GH. Quand on veut mettre en jeu cette machine, on remplit d'abord le vase AB aux trois quarts, en y versant de l'eau par le tuyau CD (l'air de ce vase s'échappe par les tubes ML et KL); ensuite on verse un peu d'eau dans le vase GH, et bientôt le liquide s'élance par le tuyau DC, et présente le spectacle assez surprenant d'un jet d'eau au-dessus de sa source. L'explication de cet effet est aisé à saisir : l'eau du vase GH tombe par le tuyau IK dans le vase EF, et condense l'air qui s'y trouve, ainsi que l'air qui occupe la partie supérieure du vase AB, à cause de la communication établie par le tuyau LM; celui-ci, en vertu de sa tension qui est alors supérieure à la pression atmosphérique, presse la surface de l'eau dans le vase AB, et occasionne le jet qui s'élève par le tuyau DC. La hauteur à laquelle l'eau peut être portée se détermine avec facilité d'après les principes posés précédemment; comptée à partir du niveau du liquide dans le vase AB, elle serait égale à la hauteur de la surface de l'eau qui est dans le vase GH, au-dessus de la surface du liquide dans le vase EF, si les frottemens et la résistance de l'air ne diminuaient pas un peu la vîtesse.

Le vase GH peut ne contenir que peu d'eau; ses pertes sont à chaque instant réparées par le jet.

Il existe un grand nombre d'autres machines construites

d'après la propriété qu'ont les gaz d'acquérir une tension de plus en plus grande, à mesure qu'on les comprime davantage; c'est dans les traités des machines qu'on doit en chercher les descriptions : en les reproduisant ici nous dépasserions les bornes qu'on doit se prescrire en écrivant un traité élémentaire de physique. C'est aussi dans les mêmes ouvrages qu'on doit étudier les machines dont la construction repose sur la propriété qu'ont les liquides de se réduire en vapeur, et d'acquérir une grande tension quand on les chauffe suffisamment; nous ne pouvons donner à nos lecteurs qu'une description très-abrégée de quelques-unes d'entre elles.

Eolypile. On appelle éolypile une poire creuse de métal, dont la queue T, *fig.* 125, est un canal fort étroit; on la remplit à moitié ou tout au plus aux deux tiers d'eau ou d'un liquide quelconque, en chauffant comme il a été dit pour les tubes thermométriques, pages 112 et 113. On la place ensuite sur des charbons ardens, et l'on pousse le feu jusqu'à ce que la vapeur souffle violemment par le petit canal T; ensuite on renverse l'éolypile en continuant de la chauffer avec le réchaud qu'on incline un peu; et aussitôt le liquide, pressé par la vapeur qui n'a plus d'issue par où elle puisse s'échapper, jaillit à une assez grande hauteur, qui dépend au reste de la violence du feu. En employant de l'eau-de-vie, on peut l'enflammer et obtenir ainsi un superbe jet de feu.

Machines à vapeur. Les machines à vapeur sont des appareils propres à produire du mouvement au moyen du feu à l'action duquel on soumet de l'eau pour en changer l'état, et au moyen du refroidissement qui fait repasser la vapeur produite à l'état liquide. Les premières qui furent construites étaient employées à opérer des épuisemens; d'abord très-imparfaites, elles ont éprouvé des perfectionnemens successifs, et maintenant non seulement elles remplissent bien mieux et avec plus d'économie le but auquel on les avait primitivement destinées, mais en outre leurs usages se sont étendus

à toutes les branches d'industrie, et on peut s'en servir pour produire toute espèce de mouvement (1). La *fig.* 126 représente une coupe verticale d'une des machines employées actuellement; la chaudière et toute la partie de l'appareil qui sert à régler la formation de la vapeur, sont représentées en *(a)*; on voit en *(b)* la partie de la machine où le mouvement se produit et se transmet.

Formation de la vapeur. BBBB, *fig. (a)*, chaudière où se forme la vapeur; elle est placée sur un foyer dans lequel on entretient un feu qui doit être réglé d'après la quantité de vapeur dont on a besoin à chaque instant.

D, tuyau par lequel la vapeur s'échappe pour aller produire son effet mécanique, comme nous le verrons bientôt.

E, soupape du modérateur; elle s'ouvre ou se ferme au moyen d'une tige extérieure, et règle la dépense.

ii, flotteur en pierre soutenu à la surface de l'eau par un fil métallique JJ, qui glisse à frottement dans un trou pratiqué dans la paroi de la chaudière, et dont l'extrémité supérieure est attachée à un levier KK'.

K' M, soupape dont le poids soutient en partie le flotteur *ii*, de manière qu'il reste à la surface de l'eau, quoique plus dense que ce liquide.

HH, réservoir alimentaire qui est sans cesse maintenu plein d'eau. Quand, à cause de la formation de la vapeur, le niveau de l'eau s'abaisse dans la chaudière, le flotteur *ii* descend: il soulève par conséquent la soupape M, et de l'eau parvient du réservoir alimentaire jusque dans le fond de la chaudière par le tuyau alimentaire II : s'il en arrivait en trop grande quantité, le flotteur monterait et la soupape M se fermerait par son propre poids. Le jeu de ces diverses pièces fait que

(1) L'histoire des découvertes faites en ce genre se trouve développée dans un ouvrage de M. Robert Stuart, intitulé : *Histoire descriptive de la machine à feu*; en le consultant, on pourra se former une juste idée de la part qu'il faut attribuer à chacun dans l'admirable invention de la machine à vapeur.

les pertes sont sans cesse réparées, sans qu'il y ait à aucun instant de refroidissement notable dans le liquide de la chaudière.

FF, robinets d'épreuve.

o, cylindre de fer, en forme de seau, soutenu par la chaîne PP, laquelle passe sur deux poulies, et porte à son autre extrémité un registre destiné à fermer plus ou moins l'ouverture de la cheminée. Quand le feu est trop violent, la tension de la vapeur augmente; elle force l'eau de la chaudière à monter dans le tuyau II, où elle soulève le seau : le registre descend alors en vertu de son poids, et ferme en partie l'ouverture de la cheminée, ce qui ralentit le feu. Si la force de la vapeur diminuait trop, elle ne pourrait plus soutenir la colonne d'eau contenue dans le tuyau alimentaire; le cylindre *o* redescendrait et soulèverait le registre dont le poids est moindre; le feu deviendrait alors plus vif. On voit que, par toutes ces dispositions, on obtiendra par le tuyau D un courant de vapeur continu et assez bien réglé, sans qu'il soit nécessaire de prendre d'autre soin que celui d'entretenir le feu.

s, soupape de sûreté; elle a un poids bien déterminé. Quand la vapeur acquiert une tension trop forte, elle soulève cette soupape et s'échappe dans la cheminée par un tuyau qui l'y conduit; on prévient ainsi la rupture des parois de la chaudière et les explosions.

BC, manomètre qui marque la tension de la vapeur. Il est représenté plus en grand dans la *fig.* 127; le mercure se tient au même niveau CD dans les deux branches, lorsque la vapeur a une tension égale à celle de l'atmosphère. Il s'élève de plus en plus dans la branche CE qui est pleine d'air, à mesure que la tension augmente; et le volume de l'air, que des divisions adaptées à l'appareil font connaître, permet d'évaluer cette tension : elle est égale à celle de l'air comprimé, laquelle est en raison inverse du volume qu'il occupe (*voy.* pag. 98).

V, robinet pour vider la chaudière.

c', ouverture par laquelle les ouvriers descendent dans la chaudière pour la nétoyer ou la réparer. On la nomme le *trou de l'homme.*

Production du mouvement. P' (*fig.* 4) piston qui se meut alternativement de haut en bas et de bas en haut dans le corps de pompe *oc*.

t, tige du piston ; elle traverse avec frottement la paroi supérieure du corps de pompe : des étoupes imbibées d'huile ferment toute issue à la vapeur.

oc, corps de pompe dans lequel la vapeur peut parvenir par deux ouvertures *u* et *v*, au-dessus ou au-dessous du piston.

c' c', cylindre qui enveloppe le corps de pompe, et qui en est séparé par un espace annulaire, dans lequel la vapeur est amenée directement dans la chaudière par le tuyau D. Il n'y a pas de communication immédiate entre cet espace et le corps de pompe.

T, tiroir ; c'est un demi-cylindre vertical creux qui joue dans un emboîtement vertical de même forme. Entre cette pièce et le cylindre *c' c'* est un espace *ll*, *fig.* 128 et 129. qui communique alternativement avec la partie inférieure et avec la partie supérieure du corps de pompe ; cet espace n'a d'ailleurs aucune communication avec d'autres parties de la machine, si ce n'est avec l'espace annulaire CC'. Le tiroir monte et descend par un moyen que nous indiquerons plus loin ; la *fig.* 128 le représente dans sa position la plus élevée : la vapeur, en suivant la route indiquée par les flèches, se rend dans la partie supérieure du corps de pompe, et fait descendre le piston. En même temps, la partie inférieure du corps de pompe communiquant avec le *condenseur* KK' dans lequel de l'eau froide jaillit sans cesse, la vapeur qui s'y trouve passe à l'état liquide et se mêle à l'eau froide, à l'action de laquelle est dû son changement d'état ; ainsi rien ne s'oppose à l'action de la vapeur qui tend à faire mouvoir le piston de haut en bas. C'est dans cette position que le tiroir est représenté dans la *fig. h.*

La *fig.* 129 fait voir le tiroir au bas de sa course. L'espace *ll* reçoit d'abord la vapeur qui sort en *a* de l'espace annulaire, ensuite elle se rend dans le corps de pompe au-dessous du piston par l'ouverture *v*, et elle tend à le faire monter. La vapeur qui occupe la partie supérieure du corps de pompe se rend alors dans le condenseur en passant par le milieu du tiroir, comme les flèches l'indiquent; elle repasse à l'état liquide, et ne s'oppose point à l'ascension du piston. Une pompe aspirante *pp* enlève l'eau du condenseur *kk'* et les gaz qui s'y trouvent; la soupape E en fait partie. Une portion de cette eau qui est un peu chaude est élevée par la pompe *p'*, et sert à maintenir plein le réservoir alimentaire de la chaudière.

Nous allons expliquer maintenant comment on transforme le mouvement de va-et-vient de la tige du piston en mouvement de rotation, et comment le tiroir monte et descend. Le sommet M de la tige du piston est attaché à un parallélogramme à angles mobiles MNOL, ce qui peut avoir lieu sans que pour cela elle s'écarte sensiblement de la verticale pendant son mouvement. Elle fait osciller le levier LL' autour de l'axe X, et ce levier fait mouvoir les pompes *p*, *p'* et la bièle F qui, étant attachée à la manivelle G, fait tourner l'arbre de couche Y et le volant VV qui y est fixé; ce volant est destiné à régulariser le mouvement.

L'arbre de couche peut recevoir aussi des roues, et transmettre le mouvement où l'on veut par les moyens mécaniques ordinaires. Il porte en outre un excentrique E; un collier métallique dans lequel peut tourner cet excentrique est fixé au triangle NM. Le sommet N de ce triangle est boulonné avec un levier coudé NPQ. P est un axe fixe autour duquel ce levier tourne tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, quand l'excentrique tourne avec le volant, et donne au triangle un petit mouvement de va-et-vient. L'extrémité Q monte et descend donc alternativement; c'est elle qui agit sur la tige FF du tiroir, et en détermine l'ascension et la descente.

p'' est une pompe qui est mue par le levier LL′ ; elle est destinée à élever de l'eau froide pour alimenter le condenseur.

Tous les mouvemens que nous venons de décrire sont en harmonie les uns avec les autres : pendant que le piston monte, la bièle descend, l'arbre Y et l'excentrique font un demi-tour, le tiroir monte, et sa nouvelle position détermine la descente du piston. La bièle monte alors, l'axe Y et l'excentrique font encore un demi-tour, le tiroir descend; puis les mêmes effets recommencent.

On varie souvent la forme des diverses pièces qui composent les machines à vapeur. On emploie souvent aussi la vapeur à des températures plus élevées que dans les machines dont nous venons de parler. Dans ce cas, on peut, au lieu de condenser la vapeur, lui donner issue dans l'atmosphère; c'est ce qu'on fait toujours dans les machines destinées à mouvoir les charriots à vapeur, parce qu'elles ne pourraient être accompagnées d'une quantité d'eau froide suffisante pour alimenter le condenseur ; le poids en serait trop considérable.

Applications de l'élasticité. La connaissance de l'élasticité des corps et des limites dans lesquelles elle s'exerce, est très-importante dans les arts; aussi allons-nous rapporter ici les principaux résultats obtenus dans les expériences qui ont été faites sur ce sujet; nous commencerons par ce qui est relatif aux liquides, et nous décrirons les expériences de M. Œrsted déjà indiquées à la page 91.

L'appareil que M. Œrsted emploie pour mesurer la compressibilité de l'eau est représenté par la *fig.* 130. Il se compose essentiellement d'un réservoir *cc* en verre épais, terminé à sa partie supérieure par un corps de pompe qu'on peut visser et dévisser à volonté, et dans lequel glisse un piston ; et d'un vase en verre *tzz* qu'on nomme le *piézomètre*, et dont la forme est assez analogue à celle d'un gros thermomètre cylindrique : son extrémité supérieure est ouverte en forme d'entonnoir; les divisions du tube *tz* doivent être d'égale capacité, et avoir un rapport connu avec la capacité totale de l'instrument. Un

petit tube *mm* est adapté sur la monture du piézomètre; il est ouvert par son extrémité inférieure, et fermé par son extrémité supérieure : l'air qu'il contient est destiné à indiquer la pression par son changement de volume.

Pour faire l'expérience, on remplit d'abord le piézomètre du liquide sur lequel on veut opérer; puis, par de légères variations de température, on introduit dans le tube *tz* un petit index d'air ou de mercure; ensuite on porte le piézomètre dans le réservoir *ce*, on visse fortement le corps de pompe à sa partie supérieure, puis on remplit l'appareil totalement d'eau par le tube BB′; pendant ce temps, l'air s'en échappe par l'ouverture *o*. On ferme alors le tube BB′; et on force le piston *s* à descendre en faisant tourner la vis *s*G dans son écrou au moyen de la traverse TT′; l'ouverture *o* se trouve bientôt dépassée par le piston, et le liquide qui remplit le réservoir est comprimé de plus en plus; sa tension augmente, et il comprime à son tour avec une égale force le liquide du piézomètre et le gaz du tube *mm*. Les deux échelles font connaître la diminution de volume du liquide que contient le piézomètre, et la diminution de volume du gaz contenu dans le tube *mm* : celle-ci permet d'évaluer la pression.

Voici maintenant les principaux résultats que M. Œrsted a obtenus :

1°. Pour une pression de 1 atmosphère, l'eau se comprime de 0,000045, ou des quarante-cinq millionièmes de son volume primitif.

2°. Jusqu'à 70 atmosphères, la diminution de volume est proportionnelle à la force comprimante.

3.° Quand la force comprimante cesse d'agir, l'eau reprend le volume qu'elle avait d'abord.

4°. La diminution de volume que le mercure éprouve est de un millionième pour chaque augmentation d'une atmosphère dans la force comprimante.

5°. Celle de l'alcohol est de 20 millionièmes.

6°. Celle du sulfure de carbone de 30 millionièmes.

7°. Celle de l'éther sulfurique de 60 millionièmes.

8°. Celle de l'eau chargée de sels, d'alcalis ou d'acides, est un peu moindre que celle de l'eau pure.

Ces nombres sont ceux indiqués immédiatement par l'expérience; mais la plupart des physiciens pensent qu'ils doivent être corrigés, à cause d'un changement de capacité que la compression ferait éprouver au piézomètre. Cependant, comme on n'est pas d'accord sur la valeur de ces corrections ni même sur le sens dans lequel elles doivent être faites, nous nous abstiendrons de les indiquer.

MM. Colladon et Sturm ont fait des expériences sur le même sujet; nous rapportons dans le tableau suivant les résultats auxquels ils sont parvenus, ainsi que ceux de M. Œrsted. Les premiers ont donné des nombres plus considérables que celui-ci; mais cela vient en partie de ce qu'ils ont adopté une correction, tandis que M. Œrsted a fait connaître les résultats même de l'expérience.

Tableau des diminutions de volume que la compression fait éprouver aux liquides.

NOMS des SUBSTANCES.	DIMINUTIONS de volume pour une atmosphère évaluées en millionièmes du volume primitif.
	M. OERSTED.
Mercure	1
Alcohol	20
Sulfure de carbone	30
Eau	45
Ether sulfurique	60
	MM. COLLADON ET STURM.
Mercure	5,03
Acide sulfurique	32,
Acide nitrique	32,2
Ammoniaque	34,7
Acide acétique	42,2
Eau non privée d'air	49,5
Eau privée d'air	51,3
Ether nitrique	71,5
Essence de térébenthine	73,
Ether acétique	79,3
Ether hydrochlorique	85,9 p. la 1re atm.
	82,25 p. la 9e atm.
Alcohol	96,5 p. la 1re atm.
	93,5 p. la 9e atm.
	89, p. la 24e atm.
Ether sulfurique à 0°	133, p. la 1re atm.
	122, p. la 24e atm.
Id. à 11°	150, p. la 1re atm.
	141, p. la 24e atm.

La chaleur développée pendant la compression des liquides est très-difficile à observer, sans doute parce que cette compression n'est ni assez considérable ni assez subite. MM. Colladon et Sturm sont cependant parvenus à faire marcher de 4 à 6° un thermomètre de Bréguet, en le plaçant dans de l'éther sulfurique qu'ils comprimèrent à grands coups de marteau.

Résistances des corps solides à l'écrasement. Nous avons vu, page 104, que les solides comprimés étaient susceptibles d'éprouver des diminutions de volume passagères ou permanentes. On a fait peu d'expériences jusqu'à présent sur la valeur des premières; mais la théorie a dévancé l'expérience, et on peut consulter avec fruit les mémoires de M. Poisson sur ce sujet. Quant aux réductions de volume permanentes, on les observe facilement en cherchant la densité des corps sur lesquels on opère, avant et après la compression. Si la force comprimante croît indéfiniment, on finit par atteindre un point où le corps employé se laisse écraser et réduire en poussière. La force nécessaire pour produire cet effet est différente pour différens corps. Nous donnons dans le tableau suivant des résultats qui ont été obtenus par M. Rondelet et par M. G. Rennie; ils sont extraits d'un ouvrage de M. Navier, intitulé : *Résumé des leçons données à l'école royale des ponts et chaussées.*

Résistance des pierres à l'écrasement, d'après les expériences de M. Rondelet, *sur des cubes de* 5 *centimètres de côté.*

INDICATION des PIERRES.	DENSITÉS.	POIDS produisant L'ECRASEMENT.
		kilogrammes.
Balsate d'Auvergne.	2,88	51945
Grès blanc.	2,48	23086
Marbre noir de Flandre.	2,72	19719
Granit de Normandie, dit *gatinos*.	2,66	17555
Granit gris de Bretagne.	2,74	16353
Pierre noire de S.-Fortunat employée à Lyon, très-dure et coquilleuse. .	2,65	15668
Granit vert des Vosges.	2,85	15487
Liais de Bagneux, près Paris, très-dur, d'un grain fin.	2,44	11113
Marbre blanc statuaire.	2,69	8176
Roche d'Arcueil, près de Paris. . .	2,08	6334
Roche de Chatillon, près de Paris, dure, un peu coquilleuse.	2,29	4347
Pierre de Saillancourt, près de Pontoise, 1re qualité.	2,41	3536
2e qualité.	2,29	2994
3e qualité.	2,10	2304
Pierre ferme de Conflans employée à Paris.	2,07	2245
Pierre à plâtre de Montmartre près de Paris.	1,92	1785
Vergelée des environs de Paris, tendre, d'un grain grossier, résistant à l'eau.	1,33	1496
Pierre tendre ou lambourde de Conflans, 1re qualité.	1,82	1407
Lambourde de qualité inférieure, tendre, résistant mal à l'humidité.	1,56	575
Grès tendre.	2,49	98

Résistance des bois à l'écrasement, d'après les expériences de M. G. Rennie, *sur des cubes de* 1 *pouce anglais de côté.*

BOIS	POIDS produisant l'écrasement, en livres avoir du poids.
Chêne anglais.	3860
Sapin blanc.	1928
Pin d'Amérique.	1606
Orme.	1284

Résistance des métaux à l'écrasement, d'après les expériences de M. G. Rennie, *sur des cubes de* 1|4 *de pouce anglais de côté.*

MÉTAUX.	DENSITÉS.	POIDS produisant l'écrasement, en livres avoir du poids.
Fer tiré du centre d'une large masse.	7,033	9773
Fer tiré de barres coulées horizontalement.	7,113	10114
Fer tiré de barres coulées verticalement.	7,074	11137
Cuivre coulé.	»	7318

La livre *avoir du poids* vaut en kilogrammes $0^{k},45355$, et le pouce anglais vaut $25^{mm},3999$.

Ténacité des corps. La ténacité des corps est la résistance qu'ils opposent à la rupture, quand ils sont tirés suivant une de leurs dimensions. Cette résistance ne dépend point de la grandeur de la dimension suivant laquelle s'effectue la traction ; et, dans le cas où toutes les sections perpendi-

culaires à cette dimension sont égales, on admet encore (ce qui n'est pas tout-à-fait exact) que la ténacité est proportionnelle à ces sections; de sorte que, si N désigne le nombre des millimètres carrés qui s'y trouvent contenus et T la ténacité observée, on obtiendra la ténacité d'un fil qui aurait pour section un millimètre carré, en divisant T par N. Afin de rendre toutes les expériences comparables, on ramène ainsi par le calcul tous les résultats à ce qu'ils seraient dans ce cas.

Ténacité de diverses substances, ou nombre de kilogrammes que supporte 1 millimètre carré.

NOMS DES SUBSTANCES.	TÉNACITÉ MOYENNE.	NOMS DES OBSERVATEURS.
		MM.
Fer en fil non recuit. . . . 50 à 87. . . . n. 1 à 23 (Franche-Comté).	68	Seguin aîné.
Fer en fil, non recuit. . . . 50 à 84. . . . n. 4 à 19 (Ferrière, S. Gingolf).	67	Dufour.
Fer en fil (Bourgogne).	60	Buffon.
Fer en fil (anglais).	64	Telford.
Fer en fil, recuit. . . . . 36 à 44 envir.	40	
Fer en barres carrées ou rectangulaires. . . . . 30 à 60. . . .	45	Seguin aîné.
Id. . . . . . 32 à 56. . . .	43	Peronnet.
Id.	47	Soufflot et Rondelet.
Id. (anglais).	46	Telford.
Fer fondu.	14	Brown.
Fer fondu horizontalement.	13	G. Rennie.
Fer fondu verticalement.	14	*Id.*
Barres d'acier *blistered* (anglais).	28	Brown.
Id. fondu *id.*	44	*Id.*
Tôle dans le sens du laminage. . . . . 36 à 45. . . .	41	Navier.
Id. perpendiculairement au laminage. . . . . 33 à 39. . . .	36	*Id.*
Laiton en fil, non recuit. . 40 à 80. . . .	60	Dufour.
Id. . . . . . recuit. . 20 à 40 envir.	30	*Id.*
Cuivre rouge laminé.	21	Navier.
Plomb laminé.	1,35	*Id.*
Verre, en tige ou en tube. 1,7 à 3,3. . .	2,5	*Id.*

Les liquides ont aussi une ténacité, mais elle est très-faible. Pour la mesurer, on suspend à un bassin d'une balance un disque susceptible d'être mouillé par le liquide sur lequel on veut opérer, puis on met ce disque en contact avec le liquide, et dans l'autre bassin de la balance on place des poids jusqu'à ce qu'il soit soulevé. Aussitôt que la séparation a eu lieu, on s'aperçoit que ces poids sont plus que suffisans pour faire équilibre au poids du disque et à celui de la couche de liquide qui adhère à sa surface, et il est facile de voir de combien ils sont trop considérables en en retirant une partie jusqu'à ce que l'équilibre se rétablisse. Les poids ainsi enlevés mesurent la force qui a été nécessaire pour détacher la couche de liquide qui est restée adhérente à la surface du disque, en vertu de l'attraction qu'il exerce sur elle, de la couche de liquide en contact avec laquelle elle se trouvait; et en les divisant par le nombre de millimètres carrés contenus dans la base du disque, on aura la ténacité du liquide. Le tableau suivant a été calculé d'après des résultats obtenus par M. Gay-Lussac :

Tableau de la ténacité des liquides.

NOMS DES SUBSTANCES.	DENSITÉ.	TEMPÉRATURE.	TÉNACITÉ.
			grammes.
Eau.	1, 000	8°, 5	0, 0054
Alcohol.	0, 8196	8,	0, 0028
Id.	0, 8595	10,	0, 0029
Id.	0, 9415	8,	0, 0034
Essence de térébenthine.	0, 8695	8,	0, 0031

Force de torsion. Quand un fil a été tordu par une force quelconque, il fait un effort constant en vertu de son élasticité pour revenir à sa forme primitive, pourvu toute-

fois qu'il n'ait pas été *forcé*, c'est-à-dire que la torsion n'ait pas été suffisante pour changer d'une manière permanente la position relative des particules. Cet effort est proportionnel à la torsion, et il produit, quand le fil est subitement abandonné à lui-même, attaché fortement par son extrémité supérieure, et tiré par un poids à son extrémité inférieure, des oscillations qui s'effectuent suivant des lois remarquables qu'on peut démontrer par le raisonnement ou constater par l'expérience :

1°. En chargeant le fil de différens poids, la position de stabilité autour de laquelle les oscillations s'effectuent, varie;

2°. Les oscillations sont isochrones, pourvu que leurs amplitudes ne soient pas trop grandes ;

3°. Les durées des oscillations sont entre elles comme les racines carrées des poids qui tendent le fil ;

4°. Les durées des oscillations sont entre elles comme les racines carrées des longueurs des fils ;

5°. Les durées des oscillations sont en raison inverse des carrés des diamètres des fils.

L'ensemble de ces lois a conduit les mécaniciens à la formule :

$$T^2 = \frac{r \cdot PR^2}{2gF}$$

dans laquelle :

T désigne la durée d'une oscillation évaluée en secondes ;

r le rapport de la circonférence au diamètre ;

P le poids ayant une forme cylindrique qui tend le fil :

R le rayon du cylindre dont le poids est P ;

g la gravité ;

F force de tension. On appelle ainsi l'effort qu'il faudrait faire à l'extrémité d'un levier d'un mètre de longueur pour tordre le fil d'un angle dont la mesure comptée sur une circonférence d'un mètre de rayon, égale aussi un mètre.

Au moyen de cette formule, on peut calculer la valeur de la force de torsion dans des circonstances données.

Pour vérifier tous ces faits, on se sert d'un appareil représenté par la *fig.* 131. Il se compose d'un tube vertical de cuivre TT, fixé sur un pied PP′ soutenu par trois vis calantes : ce tube porte deux curseurs ; le supérieur *ss′* se termine en *s′* par une pièce dans laquelle on fixe l'extrémité du fil ; l'inférieur *cc′* se termine en C′ par un disque qui porte une circonférence divisée. NN′ est une pince fixée à l'extrémité inférieure du fil ; elle peut se visser sur différens poids cylindriques, ou s'adapter à un bassin de balance dans lequel on met ensuite des poids en quantité convenable. La circonférence divisée C′ sert pour mesurer l'étendue des oscillations.

Maintenant nous allons donner des tableaux qui contiennent les résultats des expériences faites pour mesurer la force de torsion de fils de fer de différentes grosseurs et qualités, et pour déterminer la résistance que divers métaux opposent à la rupture par torsion.

Tableau de la résistance que le fer forgé oppose à la torsion, d'après M. Duleau.

DÉSIGNATION DES FERS.	Longueur en mètres.	Grosseur en mètres.	Angle de torsion produit par un poids de 10 k. agissant à l'extrémité d'un bras de levier de 0m,32.
Fer rond du Périgord. . .	2,81	0,0142	13,4
Id.	3,17	0,0197	6,
Fer rond anglais marqué Dowlois.	2,40	0,0198	4,
Fer rond de l'Arriège. . .	3,57	0,0215	4,8
Id.	2,89	0,0215	4,5
Fer rond du Périgord. . .	3,19	0,0221	3,32
Id.	2,89	0,0230	3,
Fer rond anglais.	3,24	0,0235	2,34
Fer rond du Périgord. . .	2,94	0,0265	1,82
Id.	3,35	0,0267	1,87
Id.	2,92	0,0357	0,625
Fer rond de l'Arriège. . .	2,77	0,0268	1,65
		Côtés.	
Fer carré angl. marq. C 2.	4,12	0,0200	6,5
Id.	2,52	0,0200	4,
Fer carré du Périgord. . .	2,52	0,0204	3,08
Id.	3,39	0,0326	0,65
Fer plat anglais.	2,91	0,0340 0,0086	11,4
Id.	1,55	0,0340 0,0086	5,62
Fer plat du Périgord. . .	2,91	0,0340 0,0105	7,2
Fer plat anglais marqué B.	1,45	0,0678 0,0147	0,85

Tableau de la résistance que divers métaux opposent à la rupture, par torsion, d'après M. Rennie.

INDICATION DES CORPS SOUMIS A LA TORSION.	LONGUEUR DES PIÈCES.		Equarrissage		Poids produisant la rupture au moyen d'un levier de 2 pieds anglais, ou de 0m,6096.		
	en pouces angl.	en mètres.	en pouces angl.	en mètres.	en livres avoir.		en kilog.
					l.	onc	kil.
Fer coulé horizontalement.	0	0,	1|4	0,006	9	15	4,501
Fer coulé verticalement.	0	0,	1|4	0,006	10	10	4,813
Fen coulé horizontalement.	1|2	0,012	1|4	0,006	7	3	3,255
Id.	3|4	0,018	1|4	0,006	8	1	3,652
Id.	1	0,025	1|4	0,006	8	8	3,850
Fer coulé verticalement	1|2	0,012	1|4	0,006	10	1	4,567
Id.	3|4	0,018	1|4	0,006	8	9	3,386
Id.	1	0,025	1|4	0,006	8	5	3,766
Id.	6	0,050	1|4	0,006	9	12	4,416
Fer coulé horizontalement.	0	0,	1|2	0,012	93	12	42,183
Id.	0	0,	1|2	0,012	74	00	33,522
Id.	10	0,254	1|2	0,012	52	00	23,556
Acier.	0	0,	1|4	0,006	17	1	7,727
Fer forgé d'Angleterre.	0	0,	1|4	0,006	10	2	4,584
Fer forgé de Suède.	0	0,	1|4	0,006	9	8	4,303
Métal de canon dur.	0	0,	1|4	0,006	5	0	2,255
Fonte jaune fine.	0	0,	1|4	0,006	4	11	2,125
Cuivre coulé.	0	0,	1|4	0,006	4	5	1,953
Etain.	0	0,	1|4	0,006	1	7	0,650
Plomb.	0	0,	1|4	0,006	1	0	0,453

Les extrémités de chaque pièce étaient engagées dans des matrices carrées très-exactes. La longueur de la pièce est la longueur comprise entre les matrices.

Tableau de la résistance que le fer rond oppose à la rupture, d'après M. Dunlop.

LONGUEUR DES PIÈCES.		DIAMÈTRE.		Poids produisant la rupture. Le bras du levier est de 14 pi. 2 po. anglais.	Poids produisant la rupture, en supposant le bras du levier de 1 mètre.	
Pouces anglais.	Pouces français.	Pouces anglais.	Pouces français.		Exprimé en livres avoir du poids.	Exprimé en kilogrammes.
2,750	0,0698	2,	0,0508	250	1097,4	497,12
3,250	0,0825	2,25	0,0571	384	1685,7	763,61
3,	0,0762	2,50	0,0635	408	1791,2	811,36
3,	0,0762	2,75	0,0698	700	3073,0	1391,5
4,	0,1016	3,25	0,0825	1170	5136,3	2326,7
5,	0,1270	3,50	0,0889	1240	5443,6	2466,0
5,	0,1270	3,75	0,0952	1662	7296,1	3305,1
5,	0,1270	4,	0,1016	1938	8200,0	3707,7
6,	0,1524	4,25	0,1079	2158	9473,5	4291,5

Acoustique. Le son est encore un des effets de l'élasticité des corps, et même un de ceux dont l'étude intéresse le plus vivement, à cause du rôle important qu'il remplit dans la société. Il consiste en un mouvement de vibration excité dans la matière, et qui est susceptible de se transmettre de proche en proche à des distances plus ou moins grandes. Plusieurs expériences peuvent servir à constater ce fait :

1° Qu'on pince une corde d'un instrument de manière à la faire résonner, et on la verra osciller rapidement de part et d'autre de sa position d'équilibre, et prendre successivement les formes ACB, AC′B, *fig.* 132.

2° Qu'on fasse résonner, au moyen d'un archet, une plaque d'un corps quelconque suffisamment élastique, comme du verre, du bois, du laiton, du cuivre, après l'avoir couverte d'un peu de sable fin, et on verra le sable sautiller jusqu'à ce qu'il soit arrivé sur certaines parties de cette lame qui restent en repos.

3° Qu'on fasse résonner, en passant un archet sur ses bords, un verre à pied contenant de l'eau, et on la verra se couvrir de rides, ou même jaillir de toutes parts en pluie très-fine poussée vivement par les parois du verre pendant leur mouvement de vibration ou d'oscillation.

4° Enfin, qu'on pose doucement la main sur un corps sonore quelconque, et on le sentira frémir.

Ces faits, ainsi qu'un grand nombre d'autres qu'on pourrait citer, prouvent incontestablement que tout corps qui résonne est en mouvement de vibration. Ce mouvement est le résultat de la propriété qu'ont les corps de tendre constamment à revenir à leur forme première, quand ils en ont été écartés par un moyen quelconque. Ainsi la corde ACB de la première expérience (*fig.* 132) revient à la forme AB à cause de son élasticité, aussitôt qu'on l'abandonne; mais après être arrivée à cette forme, elle la dépasse en vertu des vîtesses acquises par chacun de ses points, et elle parvient à celle qu'indique la ligne AC′B, symétrique par rapport à ACB. Ensuite elle revient à sa position primitive AB à cause de son élasticité; elle la dépasse encore en vertu de la vîtesse acquise, et prend celle indiquée par la ligne ACB; puis les mêmes causes reproduisent les mêmes effets, et les oscillations continuent ainsi jusqu'à ce que le mouvement se trouve anéanti, tant par la résistance de l'air et le frottement vers les points d'appui, que parce que l'élasticité n'est jamais parfaite. On démontre en mécanique que ces oscillations sont isochrones, ou ont lieu dans des temps égaux.

Dans les circonstances ordinaires, le corps sonore agite l'air et y occasionne des mouvemens de très-peu d'étendue qui se transmettent de proche en proche avec une grande vîtesse, et auxquels est due la sensation. Par exemple, si deux observateurs sont placés l'un à 100 pas, l'autre à 200 pas d'un chasseur au moment où il tire un coup de fusil, ils verront tous deux la lumière à peu près au moment où le coup partira, parce qu'elle se transmet avec une vîtesse excessivement grande; mais ils n'entendront pas en même temps le bruit; ce n'est

qu'un tiers de seconde environ après avoir vu la lumière que l'observateur placé à 100 pas percevra la sensation du son, et il s'écoulera deux tiers de seconde avant que le bruit soit parvenu jusqu'à l'observateur situé à 200 pas; de sorte que, quand le premier entendra le son, le second ne l'entendra pas encore; et quand celui-ci éprouvera la sensation, le premier ne l'éprouvera plus. Ainsi la transmission du son n'est pas instantanée, elle est progressive, et il peut continuer à se propager après que la cause qui l'a produit a cessé d'agir.

Dans le vide, le son ne se transmet pas; le mouvement de vibration du corps sonore ne pouvant par aucun moyen se communiquer à d'autres corps ne parvient pas jusqu'à notre organe, et il n'y a pas de sensation possible. L'expérience peut se faire en plaçant sur la platine de la machine pneumatique un petit coussin de laine ou de coton sur lequel on pose un mouvement d'horlogerie muni d'un timbre sur lequel un marteau vient frapper quand on lâche une détente qui y est adaptée; on recouvre ce petit appareil d'un récipient à tige et à boîte à cuir dans lequel on fait le vide (*fig.* 133), puis on tourne la tige pour lâcher la détente. Le marteau frappe le timbre par intervalle, et cependant on n'entend point de son; mais si on laisse rentrer l'air peu à peu, on entend d'abord un son très-faible qui va en augmentant, et qui finit par acquérir la même intensité que si le vide n'eût pas été fait.

On peut faire l'expérience contraire en comprimant de l'air dans le récipient; le son devient alors de plus en plus intense.

Ces deux expériences expliquent la diminution d'intensité du son quand on s'élève sur de hautes montagnes ou dans l'atmosphère au moyen d'aérostats, et l'augmentation d'intensité que le son éprouve dans la cloche du plongeur, lorsqu'elle est profondément enfoncée sous les eaux, et que la pression a comprimé fortement l'air qu'elle contient. Le premier de ces faits a été observé par de Saussure, qui a

remarqué qu'au sommet du Mont-Blanc un coup de pistolet faisait moins de bruit qu'un petit pétard dans la plaine : et par M. Gay-Lussac, qui a constaté que sa voix perdait beaucoup de son intensité pendant qu'il était élevé dans un ballon à 7000 mètres au-dessus de la surface de la terre.

L'air n'est pas la seule substance capable de transmettre le son ; tous les corps le transmettent plus ou moins bien, suivant leur nature et leur structure intérieure. Dans l'expérience du son dans le vide, il est nécessaire, pour qu'elle réussisse, que l'appareil repose sur un coussin très-peu élastique ; s'il était placé immédiatement sur la platine de la machine pneumatique, les vibrations du timbre se communiqueraient à la platine qui, se trouvant par une de ses faces en contact avec l'air, y exciterait le mouvement en quoi consiste le son. On pourrait même encore tirer une preuve de la transmission du son dans les solides de l'expérience telle qu'elle se fait ordinairement, puisque, quand l'air est rentré dans le récipient, il ne peut transmettre au dehors le mouvement qu'il reçoit du timbre qu'à travers la cloche et la platine qu'il met d'abord en mouvement de vibration, et qui agissent immédiatement sur l'air extérieur : mais de nombreux faits qui sont connus de tout le monde nous fourniront des preuves plus directes. Qui ne sait que le son se transmet à travers la terre bien plus loin qu'à travers l'air, et qu'en plaçant une oreille contre le sol, nous entendons une voiture qui roule à une distance trop grande pour que le bruit qu'elle fait puisse parvenir jusqu'à nous quand nous écoutons dans notre position ordinaire ? Qui ne sait aussi que le léger bruit qu'on fait en grattant une poutre à une de ses extrémités, se transmet jusqu'à l'autre bout à travers le bois, tandis que dans l'air on ne l'entend plus à une distance beaucoup moindre ? Cette plus grande distance à laquelle certains solides transmettent le son, vient sans doute de ce que la continuité des parties est plus parfaite dans ces substances qui sont plus denses que les gaz, et par conséquent contiennent plus de matière.

La transmission du son dans les liquides n'est pas plus difficile à démontrer : les plongeurs entendent le bruit qu'on fait sur le rivage ; et si, pendant qu'ils sont dans l'eau, ils choquent deux pierres l'une contre l'autre, on entend le bruit qu'ils produisent. L'abbé Nollet, qui a fait cette expérience, nous a appris qu'elle produisait même dans tout le corps un frémissement qui n'aurait pas lieu si on choquait les pierres dans l'air. Au reste, les sons ne conservent pas leur intensité en se transmettant dans les liquides aussi bien que quand ils se propagent dans des corps solides, et cela probablement parce que les liquides étant peu compressibles et ne jouissant pas de l'élasticité de forme, ne peuvent exécuter des oscillations aussi amples que les gaz ou les solides. Ce qu'il y a de remarquable dans les résultats obtenus par l'abbé Nollet, c'est que le son éprouve un affaiblissement subit au moment où il se transmet de l'air à l'eau : ainsi, en se plongeant dans l'eau à une profondeur convenable pour que l'oreille se trouve à trois pouces de sa surface, on entend les sons qui se produisent à l'extérieur très-affaiblis, et ils ne paraissent pas l'être davantage quand on s'enfonce à trois pieds au-dessous du niveau du liquide.

Vîtesse du son. Beaucoup d'expériences ont été faites dans différens pays et à différentes époques pour déterminer la vîtesse du son ; tous les résultats obtenus ne sont pas d'accord, et il serait à souhaiter qu'on fît de nouveau, avec beaucoup de soin, plusieurs expériences dans divers endroits. Nous n'indiquerons que les résultats auxquels sont parvenus les membres du bureau des longitudes, dans une expérience qu'ils firent en 1822.

Deux canons furent transportés l'un à Villejuif, l'autre à Montléry, en vue l'un de l'autre, et des observateurs munis de chronomètres bien réglés se placèrent auprès. Des coups furent tirés pendant la nuit aux deux stations, et les observateurs comptaient chacun en particulier le temps qui s'écou-

lait entre le moment où ils apercevaient la lumière et celui où le son venait frapper leur oreille.

Les observateurs de Villejuif entendirent tous les coups tirés à Montléry ; la moyenne de leurs observations donna 54″,81 pour le temps employé par le son pour franchir la distance qui les séparait du lieu de sa naissance : quelques-unes donnèrent des nombres plus forts, d'autres des résultats moindres ; mais la différence ne surpassa pas huit dixièmes de seconde.

Les observateurs de Montléry n'entendirent pas toujours le canon tiré à Villejuif. La moyenne entre les résultats obtenus est 54″,43, et la quantité dont diffèrent ceux qui sont le plus éloignés est assez faible.

La distance qui séparait les canons, mesurée ensuite par M. Arago, fut trouvée égale à 9549, 6 toises. En la divisant par la moyenne entre 54″,81 et 54″,43 qui représente à peu près le temps employé par le son pour la parcourir, on trouve pour quotient 174, 9 toises ou 340^{m}, 88, et ce nombre indique évidemment l'espace parcouru par le son en 1″. La température était de 16° centigr. ; le baromètre marquait 756^{mm},5, et l'hygromètre de Saussure 78°.

Précédemment, en 1738, des expériences faites par l'académie des sciences avaient donné à peu près le même résultat, et avaient prouvé en outre que la vîtesse du son est uniforme, et que le vent la change, à moins qu'il ne souffle perpendiculairement à la direction suivant laquelle le son se transmet ; il y ajoute la sienne quand il souffle dans le même sens, et il la diminue d'autant quand il souffle en sens contraire.

La théorie peut aussi conduire à la connaissance de la vîtesse du son : Newton a donné une formule pour la calculer, mais elle conduisait à des résultats un peu trop faibles, parce qu'il avait omis de tenir compte d'une circonstance que M. de la Place a depuis soumise au calcul. La formule ainsi corrigée représente fidèlement les faits, et s'applique à tous les gaz ; elle est :

$$V = \sqrt{\frac{Hg \cdot K}{D}}$$

V désignant la vitesse ou l'espace parcouru en 1″ évalué en mètres.

g la gravité exprimée en mètres ou $9^m,8088$.

H la hauteur de la colonne de mercure qui exprime la tension du gaz, aussi évaluée en mètres et ramenée à la température 0°.

D la densité du gaz, celle du mercure à 0° étant prise pour unité.

K le rapport entre la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° la température d'une certaine masse du gaz, en lui permettant de se dilater pendant qu'on l'échauffe, de manière que sa tension n'augmente pas, et la quantité toujours moindre de chaleur nécessaire pour élever aussi de 1° la température de la même masse de gaz, en l'empêchant de se dilater pendant qu'on l'échauffe, de manière que son volume reste constant et que sa pression augmente. La valeur de K n'a encore été déterminée que pour l'air et la vapeur d'eau : pour l'air, on a, d'après les expériences de MM. Gay-Lussac et Welter, $K = 1,375$, et pour la vapeur d'eau, d'après les expériences de MM. Clément et Desormes, $K = 1,073$.

Pour rendre cette formule applicable à l'air à la température quelconque T, il faut y remplacer K, g et D par leurs valeurs ; celle de D s'obtient au moyen de l'équation *(1)*, page 136, dans laquelle on suppose $d' = D$, $p' = H$, $t' = T$, et où l'on met au lieu de p, $0^m,76$; au lieu de t, 0 ; et au lieu de d, la densité de l'air par rapport au mercure prise à la température 0° et sous la pression de $0^m,76$, elle s'obtient en divisant la densité de l'air par celle du mercure (*voy.* le tableau des densités, page 25).

Ainsi modifiée, cette formule devient :

$$V = 327,52 \cdot \sqrt{1 + 0,00375\,T}.$$

et elle donne pour les vîtesses du son depuis 10° jusqu'à +31° :

TEMPÉRATURES.	VITESSES EN MÈTRES.	TEMPÉRATURE.	VITESSES EN MÈTRES.
— 10	321, 32	+ 11	334, 21
— 9	321, 94	+ 12	334, 81
— 8	322, 57	+ 13	335, 41
— 7	323, 20	+ 14	336, 01
— 6	323, 81	+ 15	336, 61
— 5	324, 44	+ 16	337, 21
— 4	325, 09	+ 17	337, 80
— 3	325, 68	+ 18	338, 40
— 2	326, 29	+ 19	338, 99
— 1	326, 91	+ 20	339, 58
+ 0	327, 52	+ 21	340, 18
+ 1	328, 14	+ 22	340, 77
+ 2	328, 74	+ 23	341, 35
+ 3	329, 35	+ 24	341, 94
+ 4	329, 97	+ 25	342, 52
+ 5	330, 58	+ 26	343, 12
+ 6	331, 19	+ 27	343, 70
+ 7	331, 80	+ 28	344, 29
+ 8	332, 40	+ 29	344, 87
+ 9	333, 01	+ 30	345, 45
+ 10	333, 61	+ 31	346, 03

Ses indications ne s'accordent pas encore exactement, comme on le voit, avec celles de l'expérience ; cela vient probablement de ce que les quantités sur lesquelles porte le calcul sont déduites d'expériences qui ne sont pas susceptibles de donner une approximation suffisante : d'ailleurs, la différence est très-petite.

Nous devons aussi à M. de la Place la formule suivante propre à calculer la vîtesse du son dans les liquides :

$$V = \sqrt{\frac{g}{R}}$$

dans laquelle V désigne la vîtesse du son dans le liquide, exprimée en mètres.

g la gravité évaluée en mètres ou $9^m, 8088$.

R le raccourcissement qu'éprouverait une colonne de liquide de 1 mètre de longueur, si elle était comprimée dans un tube cylindrique sans élasticité par une colonne de liquide de même nature, et ayant 1 mètre de hauteur. On détermine facilement cette quantité avec les données que contient la page 273.

En l'appliquant à l'eau, on trouve que la vîtesse du son dans ce liquide est de 1493 mètres, c'est-à-dire qu'il parcourt cet espace en 1″. M. Colladon, qui a cherché par l'expérience la vîtesse du son dans l'eau du lac de Genève, a trouvé au lieu de ce nombre 1435 mètres.

La formule précédente de M. de la Place peut aussi s'appliquer aux solides; mais M. Chladni a fait des expériences sur un assez grand nombre de ces matières, au moyen d'une méthode qui conduit à une plus grande exactitude; il a dressé le tableau suivant des résultats auxquels il est parvenu :

Tableau des vitesses du son dans plusieurs substances solides.

NOMS DES SUBSTANCES.	VITESSES comparées à celles du son dans l'air.	VITESSES exprimées en mètres.
Fanon de baleine.	6 2/3	2266
Étain.	7 1/2	2550
Argent.	9	3060
Bois de noyer.	10 2/3	3624
— d'if.		
Laiton.	10 2/3	3624
Bois de chêne.		
— de prunier.		
Tubes de pipes de tabac. .	10	3400
	12	4080
Cuivre rouge.	12	4080
Bois de poirier.	12 1/2	4250
— de hêtre rouge. . .	13 1/3	4532
— d'érable.		
— d'acajou.	14 2/5	4896
— d'ébène.		
— de charme.		
— d'orme.		
— d'aune.		
— de bouleau.		
— de tilleul.	15	5100
— de cerisier.		
— de saule.	16	5440
— de pin.		
Verre.	16 2/3	5664
Fer ou acier.		
Bois de sapin.	18	6120

Pour compléter ce sujet, nous ajouterons que les diverses qualités du son n'en changent pas la vîtesse; cela résulte de ce qu'un concert peut être entendu de près ou de loin, sans que l'harmonie en paraisse troublée, ce qui arriverait évidemment si tous les sons ne mettaient pas le même temps

pour parvenir du lieu où les musiciens se trouvent placés à l'oreille de l'observateur.

Ondulations excitées dans l'air par les vibrations des corps sonores. Pour bien comprendre ce qu'on nomme une ondulation, on peut concevoir dans l'atmosphère une petite masse sphérique d'air condensé, et examiner ce qui arriverait s'il était libre d'obéir à sa tension. Il se dilaterait alors dans tous les sens en même temps, de manière que l'espace qu'il occupait ne contiendrait bientôt plus que de l'air non condensé; mais la portion d'air qui en serait sortie s'étant répartie tout autour aurait, en s'ajoutant à l'air voisin, formé une couche sphérique condensée. Cette couche d'air se dilaterait elle-même en vertu de sa tension et de la vîtesse de ses molécules qui tendrait à les éloigner du centre, leur point de départ; il en résulterait une nouvelle couche sphérique, et ayant un diamètre plus grand d'air condensé. Celle-ci, se dilatant à son tour comme la précédente, occasionnerait une condensation dans une couche sphérique d'un rayon encore un peu plus grand, et ainsi de suite; de sorte que la condensation s'étendrait jusqu'à ce qu'elle devienne insensible, à cause de la grande étendue de la couche sphérique et des pertes de mouvement. Cette condensation qui se meut pour ainsi dire en s'éloignant du point où elle avait existé primitivement, est ce qu'on nomme une onde ou ondulation condensée.

L'ondulation raréfiée s'obtiendrait au contraire en concevant une petite masse sphérique d'air raréfié libre dans l'atmosphère; l'air voisin, en vertu de son excès de tension, se précipiterait de tous côtés dans l'espace qu'elle occuperait, et la ramènerait au dégré de condensation ordinaire. La couche sphérique enveloppante ayant ainsi perdu une partie de l'air qu'elle contenait, se trouverait pendant un instant composée d'air raréfié; ses pertes seraient réparées par l'air qui l'environnerait et qui se dilaterait en vertu de son excès de tension. Ces effets se continueraient de proche en proche.

de sorte que la raréfaction ou l'onde raréfiée se mouvrait pour ainsi dire en s'éloignant dans toutes les directions du point où elle avait pris naissance.

Les effets que nous venons d'examiner en détail font connaître ce qui se passe toutes les fois qu'un peu d'air se trouve momentanément condensé ou raréfié dans l'atmosphère, et nous conduisent à l'explication de ces mouvemens qui, excités dans l'air par les vibrations des corps sonores, se transmettent de proche en proche à d'assez grandes distances, et vont affecter les organes de toutes les personnes qui ne sont pas trop éloignées. Considérons, par exemple, une lame métallique AB, *fig.* 134, maintenue fixe par une de ses extrémités dans un étau; si on l'écarte de sa position d'équilibre pour lui faire prendre la forme AB′, et qu'ensuite on l'abandonne à elle-même, elle reviendra à la position AB, et dans ce mouvement sa vîtesse croîtra d'une manière continue, parce qu'à chaque instant l'effort résultant de son élasticité augmentera d'une petite quantité la vîtesse déjà acquise, de sorte que son mouvement sera très-lent dans l'espace voisin de AB′, et le plus rapide auprès du point B. La lame dépassera alors la position AB, et parviendra à celle indiquée par la ligne AB″; dans cette seconde partie de son mouvement, l'élasticité diminuera la vîtesse progressivement, de même qu'elle l'avait augmentée dans la partie précédente, de sorte qu'elle repassera par les mêmes dégrés d'intensité, et sera à chaque instant égale à ce qu'elle était dans la position symétrique par rapport à AB. Parvenue en AB″, la lame reviendra en se mouvant encore suivant les mêmes lois, et elle fera une série d'oscillations isochrones comme la corde dont nous avons expliqué le mouvement page 284. Ce qu'il y a d'important à remarquer ici, c'est que sa vîtesse sera très-faible auprès des points B′ et B″, et plus grande que partout ailleurs auprès du point B. Son action sur l'air variera en même temps que sa vîtesse; elle poussera, en allant de AB′ en AB″, avec une violence qui dépendra de la rapidité de son mouvement, celui qui se trou-

vera sur son passage, et le condensera : derrière elle, au contraire, elle laissera un espace vide qui sera rempli par l'air voisin, lequel conséquemment se trouvera dilaté. Si la lame n'abandonnait plus la position AB′, on aurait ainsi une onde condensée et une onde raréfiée, et ces ondes s'agrandiraient rapidement dans l'espace, de sorte que la condensation et la raréfaction ne subsisteraient que pendant un instant très-court auprès de la lame. Dans la réalité le mouvement ne cesse pas alors ; mais avant que la lame soit arrivée en ce point, et après qu'elle l'a quitté, il s'écoule un temps très-court pendant lequel sa vîtesse est insensible, et les ondes s'éloignent sans éprouver de sa part aucune altération. Quand la vîtesse est redevenue sensible, la lame se trouve donc environnée d'air qui n'est plus ni condensé ni raréfié ; et, agissant sur lui comme précédemment, elle produit deux nouvelles ondes qui suivent les premières, mais dans un ordre contraire, de sorte que l'onde condensée est suivie d'une onde raréfiée, et l'onde raréfiée d'une onde condensée. Ensuite les mêmes causes font naître de nouveau les mêmes effets, et les ondulations se succèdent rapidement dans l'atmosphère, de manière que leur nombre égale toujours celui des vibrations du corps sonore.

Les différences que les ondes produites par divers corps sonores peuvent présenter sont faciles à indiquer :

1°. La distance qui, dans l'atmosphère, sépare la plus grande condensation dans chaque onde de la plus grande raréfaction dans l'onde suivante, peut être plus ou moins considérable ; elle dépend de la vîtesse avec laquelle les vibrations du corps sonore se succèdent, et elle est toujours égale au quotient de l'espace que le son parcourt en 1″, divisé par le nombre d'ondulations produites pendant le même temps, ou, ce qui revient au même, par le nombre de vibrations que le corps sonore exécute en 1″. En effet, concevons un corps sonore qui vibre 170 fois pendant 1″, il excitera pendant ce temps 170 ondulations dans l'air ; la première de ces ondulations sera, d'après ce que nous avons

vu sur la vîtesse du son, à 340 mètres à la fin de cette seconde, car la sensation commencerait alors pour un observateur qui serait à cette distance du corps sonore : les autres ondulations occuperont l'espace compris entre la première et le corps sonore, de sorte que 170 ondes présenteront une longueur totale de 340 mètres. Comme d'ailleurs les vibrations sont isochrones, et que les ondulations se meuvent avec une vîtesse qui est toujours la même, il résulte de là que la distance qui sépare la condensation *maximum* et la raréfaction *maximum* de deux ondes consécutives, sera 170 fois moindre que 340 mètres, et égale par conséquent à deux mètres. En général, N désignant le nombre des vibrations du corps sonore, V désignant la vîtesse du son et D la distance entre la condensation et la raréfaction *maximum* de deux ondes consécutives, on a évidemment :

$$D = \frac{V}{N}$$

Voilà une première différence que peuvent présenter les ondes, et un moyen pour l'évaluer lorsque nous aurons appris à calculer le nombre des vibrations de chaque corps sonore en 1″.

2° La plus grande condensation et la plus grande raréfaction peuvent être plus ou moins fortes ; elles dépendent de la vîtesse du corps sonore au moment où elle est *maximum*, et, par suite, elles dépendent, ainsi que cette vîtesse, de l'étendue des vibrations ou de l'écartement primitif : la lame de la *fig.* 134, par exemple, acquiert une plus grande vîtesse en arrivant à la position AB, lorsqu'au lieu de l'écarter d'abord seulement en AB′, on l'écarte jusqu'en AB″′ ; cela vient de ce que l'effort dû à l'élasticité est plus considérable quand la lame est plus courbée ; ce qui a lieu nécessairement quand on l'écarte davantage.

3° Enfin, la loi suivant laquelle la densité de l'air diminue depuis la condensation *maximum* dans une onde jusqu'à la raréfaction *maximum* dans l'onde voisine, est susceptible de

varier ; elle dépend de la loi suivant laquelle la vitesse du corps sonore croît dans la première moitié de chaque vibration et diminue dans la seconde, et celle-ci dépend elle-même de la forme et de la nature du corps sonore.

Qualités du son. Ces différences correspondent chacune à la qualité particulière du son très-sensible à l'oreille ; des expériences très-simples peuvent servir à le constater.

1° Qu'on fixe une corde par une de ses extrémités, et, qu'après l'avoir fait passer en l'y portant horizontalement sur la gorge d'une petite poulie, on suspende à son autre extrémité un poids assez lourd pour la tendre suffisamment ; cette corde, quand on la fera vibrer, rendra un son déterminé. Qu'on rapproche ensuite de plus en plus la poulie de l'extrémité fixe de manière que la longueur de la corde vibrante diminue, et on observera facilement que cette corde rendra des sons plus aigus quand on la pincera.

Or, la formule suivante établie par Taylor,

$$N = \sqrt{\frac{gP}{CL}}$$

dans laquelle N désigne le nombre de vibrations faites par une corde en 1″,

g la gravité ou $9^m,8088$,

P le poids qui tend la corde,

L la longueur de la corde,

C le poids de la partie de la corde qui vibre ;

prouve que plus la longueur de la corde est petite, et plus les vibrations se succèdent rapidement, puisque C et L entrent seulement dans le dénominateur de cette expression de N. (Ce fait peut d'ailleurs être observé à la vue simple, en prenant deux longueurs de corde très-différentes). Nous pouvons donc regarder les sons les plus aigus comme étant produits par les corps qui font le plus de vibrations en 1″, et par suite comme étant dus à des ondes plus rapprochées les unes des autres.

Ceci explique aussi comment les sons d'une corde de

violon deviennent de plus en plus aigus, à mesure que le doigt qui la presse sur le manche se rapproche du chevalet.

2° Qu'on écarte la lame de la *fig.* 134 d'abord un peu, puis davantage, et que, dans chaque cas, on l'abandonne à elle-même, elle fera entendre deux sons qui auront le même dégré d'acuité; mais dans le second cas le son sera plus fort.

De cette expérience nous pouvons conclure, d'après ce qui a été dit page 296, 2°, que la force ou l'intensité du son dépend de la condensation et de la raréfaction *maximum* dans les ondulations, et croît avec elles.

3° La dernière modification dont les ondes sonores sont susceptibles (*voyez* page 296, 3°), nous explique une autre qualité qu'on nomme le *timbre* du son, et qui fait que nous distinguons deux sons rendus par deux instrumens différens, quoique leurs dégrés d'acuité et leurs intensités soient les mêmes. Il n'est pas surprenant, les ondes n'étant pas alors en tout semblables, que les sensations qu'elles produisent soient différentes.

Réflexion du son. Echos. Les ondes sonores peuvent dans leur mouvement rencontrer des obstacles; elles changent alors de direction, et leur réflexion, qui est assez analogue à celle des ondes que forment sur la surface d'un liquide des corps qu'on y jette lorsqu'elles rencontrent un obstacle, se fait de manière que la nouvelle direction du son et la direction première font avec la perpendiculaire à l'obstacle des angles égaux, et sont avec elle dans un même plan. On énonce ordinairement cette loi en disant que *le son se réfléchit en faisant l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence.* L'angle de réflexion est celui que fait la direction du son après la réflexion avec la perpendiculaire à la surface de l'obstacle, et l'angle d'incidence est celui que font entre elles cette dernière droite et la direction première du son.

Dans les lieux clos, le son se réfléchit un grand nombre de fois, et l'oreille est affectée par les ondes directes et par les ondes réfléchies; c'est pour cela que le son nous y

paraît plus fort qu'en plein air : cela suppose toutefois que les parois de l'enceinte soient élastiques, car il y a des corps qui, faute de l'être suffisamment, amortissent le son.

Dans la campagne, les obstacles sont plus rares et souvent aussi beaucoup plus éloignés : la sensation produite par les ondes directes peut alors ne pas se confondre avec la sensation qui résulte des ondes réfléchies ; on a alors ce qu'on appelle un *écho*. Le son se réfléchissant suivant une loi bien fixe, la position de la personne qui veut entendre l'écho n'est pas indifférente ; si elle produit elle-même le son, il est nécessaire qu'on puisse mener du lieu où elle se place une perpendiculaire à la surface de l'obstacle, et c'est le son produit dans cette direction qui, revenant sur lui-même après avoir été réfléchi, cause la seconde sensation après autant de secondes qu'il lui a fallu parcourir de fois 340 mètres pour faire deux fois le trajet. Si le son est produit dans un lieu, et que la personne qui écoute soit placée dans un autre, la condition nécessaire pour qu'elle entende l'écho est alors qu'on puisse d'un point pris sur l'obstacle mener aux deux lieux deux lignes qui fassent des angles égaux avec la perpendiculaire à l'obstacle en ce point.

Il y a des échos qui, quand on parle, répètent un grand nombre de syllabes ; celui de Wostock répète distinctement 17 syllabes pendant le jour et 20 pendant la nuit ; cela dépend de l'éloignement de l'obstacle : s'il est par exemple à 340 mètres, ce n'est qu'après 2″ que le son réfléchi fera entendre pour la seconde fois la première syllabe ; et si alors on cesse de parler, on entendra encore tout ce qui avait été dit pendant les 2″. Quand on forme de nouveaux sons, ceux qui sont renvoyés par l'écho étant plus faibles ne sont pas entendus, et les syllabes articulées pendant les deux dernières secondes paraissent seules être répétées. Un écho placé à une distance plus petite paraîtrait répéter un nombre de syllabes moindre, parce qu'il y en aurait moins qui ne se confondraient pas avec des sons directs.

On a observé aussi des échos multiples, c'est-à-dire qui

répètent plusieurs fois le même son. A trois lieues de Verdun, il y a deux grosses tours éloignées l'une de l'autre de 36 toises, qui répètent 12 ou 13 fois la voix lorsqu'on parle un peu haut dans la ligne qui les joint; elles se renvoient le son alternativement comme deux miroirs parallèles et situés en face l'un de l'autre multiplient l'image d'une bougie placée entre eux. D'autres échos multiples sont dus à ce que plusieurs obstacles se trouvent situés à des distances et dans des directions différentes; ils renvoient le son à des instans différens, et produisent autant de sensations qu'il y a d'obstacles. Ce sont alors plusieurs échos plus tardifs les uns que les autres.

L'art peut aussi disposer des constructions propres à réfléchir les sons dans des directions déterminées; en construisant des voûtes elliptiques, par exemple, on peut forcer le son produit à l'un des foyers de la voûte à se réfléchir dans toutes les directions de manière à passer par l'autre foyer; de sorte que, si une personne parle à voix basse à l'un des foyers, elle sera entendue d'une autre personne placée au second foyer, tandis qu'elle ne le sera nullement des personnes placées en d'autres lieux, même près d'elle.

Action des ondes sonores sur les corps solides. Des ondulations qui rencontrent un corps très-flexible doivent évidemment l'ébranler d'abord, et tendre, par leurs pressions et leurs dépressions réitérées, à le mettre en mouvement de vibration : quand un corps résonne, tout ce qui l'entoure devrait donc vibrer en même temps que lui. Nous pouvons prouver par plusieurs expériences qu'il en est ainsi dans certains cas; mais ce fait n'est peut-être pas aussi général qu'il le paraît d'abord.

1°. Qu'on colle les bords d'une membrane élastique comme du parchemin, du papier, sur un chassis de bois ou sur les bords d'une cloche, et qu'on fasse résonner dans le voisinage, après l'avoir saupoudrée de sable fin, un timbre, un tuyau d'orgue ou un corps quelconque capable de rendre un son pur et soutenu; au même instant la membrane

entrera en vibration, et on verra le sable sautiller jusqu'à ce qu'il ait pris certaines positions où il demeurera en repos. Cette expérience fait voir que les ondes excitées dans l'atmosphère par le corps sonore sont capables de mettre certaines parties de la membrane en mouvement de vibration, et les lignes *nodales* occupées par le sable montrent la configuration de ces parties, puisque le sable restant en repos ne peut demeurer que sur les parties qui ne vibrent pas sensiblement.

2°. Qu'on pince une corde de manière à lui faire rendre un son intense dans un lieu où se trouvent d'autres cordes capables de faire dans une seconde le même nombre de vibrations que celle qu'on fait résonner (1), ou un nombre 2, 3, 4..... fois plus grand; toutes ces cordes résonneront en même temps; et si on plie une petite bande de papier très-légère, et qu'on la pose dessus, elle sera renversée.

Ce fait est tout-à-fait analogue au précédent; on en peut produire beaucoup d'autres du même genre. Mais si les cordes tendent à faire en 1″ un nombre de vibrations qui ne soit pas en rapport simple avec le nombre de vibrations faites dans le même temps par la corde sur laquelle on agit immédiatement, alors les vibrations de ces cordes ne pourront plus être rendues sensibles à l'œil, et l'oreille n'entendra plus de son rendu par elles; de sorte que nous ne savons pas dans ce cas si elles reçoivent encore un peu de mouvement, si elles exécutent encore de petites vibrations, ou si elles restent tout-à-fait en repos.

Audition. Les vibrations d'une membrane élastique, excitées par les ondulations de l'air, sont très-propres à nous faire concevoir la manière dont notre organe est d'abord modifié, quand nous éprouvons la sensation du son. Les

(1) Le nombre de vibrations dépend de plusieurs quantités qu'on peut faire varier de manière que les nombres de vibrations des cordes employées soient entre eux dans le rapport désiré. (Voyez la formule de Taylor, page 297).

ondes sonores rencontrent le *pavillon* de l'oreille, qui les concentre par réflexion dans le conduit auditif; parvenues au fond de ce conduit, elles agissent sur la membrane du *tympan* qui le termine comme sur la membrane de la première expérience; les vibrations sont ensuite transmises par cette membrane à l'oreille interne qui en est séparée par une cavité remplie d'air qu'on nomme la *caisse du tympan*, et la sensation est produite. Jusqu'à présent, on ne sait pas encore d'une manière certaine quel rôle joue dans le phénomène de l'audition chacune des parties intérieures et extérieures de l'organe; toutefois on s'est assuré par des expériences faites sur des animaux, que la membrane du tympan pouvait être supprimée sans que la surdité en fût une conséquence, et qu'ainsi elle doit être considérée comme destinée principalement à protéger les autres parties. Il existe même dans l'état ordinaire une ouverture, la *trompe d'Eustache*, qui établit une communication entre la caisse du tympan et la bouche, et par laquelle les ondes peuvent affecter immédiatement l'oreille interne quand nous ouvrons la bouche.

Dans la seconde expérience, les ondes agissent efficacement sur les cordes qui font des nombres de vibrations multiples de celui de la corde qu'on fait résonner, parce qu'il se trouve fréquemment que l'arrivée d'une onde coïncide avec le commencement d'une vibration, et cela augmente l'amplitude des oscillations; c'est ce qui a lieu par exemple à chaque troisième ondulation, dans le cas où les nombres de vibrations sont triples l'un de l'autre. C'est aussi la coïncidence plus ou moins fréquente entre l'arrivée d'une onde et le commencement d'une vibration qui détermine les consonnances et les dissonnances. Quand on fait entendre deux sons à la fois, l'un de ces sons détermine dans l'organe un mouvement de vibration; si le second est en tout semblable, l'oreille est affectée comme elle le serait par un son unique plus intense : les ondes ne tendent jamais à exercer des actions contraires dont il résulterait une impression désagréable; il y a accord parfait, c'est ce qu'on

nomme *l'unisson*. Si le deuxième son correspond à un nombre d'ondulations double, triple, quadruple..., son effet rentre dans celui du premier à chaque 2e, 3e, 4e... onde, la sensation est encore agréable; si les nombres d'ondulations sont entre eux dans les rapports de 2 à 3, ou de 3 à 4, ou de 4 à 5, ou de 5 à 6, les rentrées sont encore fréquentes, et la sensation produite agréable : dans tous ces cas on a une *consonnance*. Il y a *dissonnance*, au contraire, si le rapport est compliqué comme celui de 8 à 15, par exemple; la sensation est désagréable, parce que les deux sons n'agissent que rarement pour produire le même effet sur l'organe.

Gamme. Ce sont ces causes qui, quoiqu'ignorées, ont fait adopter depuis si long-temps la gamme ordinaire. Elle se compose de différens *tons*, qu'on peut obtenir avec une même corde disposée comme dans l'expérience de la page 297, en changeant seulement le poids qui la tend; on trouve que les poids qu'il faut adopter pour obtenir les différens tons :

ut re mi fa sol la si ut

sont entre eux comme les nombres : $1 \; \frac{81}{64} \; \frac{25}{16} \; \frac{16}{9} \; \frac{9}{4} \; \frac{225}{81} \; \frac{225}{64} \; 4$; d'où il résulte, les nombres de vibrations étant, d'après la formule de Taylor, proportionnels aux racines carrées des poids qui tendent la corde, que les nombres de vibrations correspondant aux différens tons : ut re mi fa sol la si ut, sont entre eux comme : . . . . . $1 \; \frac{9}{8} \; \frac{5}{4} \; \frac{4}{3} \; \frac{3}{2} \; \frac{15}{9} \; \frac{15}{8} \; 2$: ainsi les consonnances que nous avons indiquées précédemment en nombre, sont :

SONS SIMULTANÉS.	RAPPORTS DE VIBRATIONS.
ut, ut (octave)	1 : 2
ut, sol	2 : 3
ut, fa	3 : 4
ut, mi	4 : 5
mi, sol	5 : 6

La dissonnance que nous avons donnée pour exemple est celle de ut, si.

D'après ce que nous venons de dire, on voit pourquoi le rapport des sons est seul important à considérer, de sorte qu'on peut prendre à volonté un premier ton, et les autres s'ensuivent. Pour fixer la gamme, chaque académie a adopté pour *la* le ton rendu par un petit instrument qu'on nomme *diapazon* et que l'ouvrier prépare avec grand soin, de manière que le son qu'il donne ait toujours le même dégré d'acuité que le son produit par le diapazon modèle.

Tableau des nombres de vibrations faites en 1″ par différens diapazons.

Diapazon	du théâtre de Berlin. . . .	437, 32
—	du grand Opéra français. . .	431, 34
—	de Feydeau.	427, 61
—	du Théâtre italien.	424, 17

Vibrations des corps solides. Cordes vibrantes. Nous avons déjà donné, page 297, la formule de Taylor, au moyen de laquelle on peut calculer le nombre de vibrations faites par une corde en 1″; on peut l'appliquer à la détermination absolue des nombres de vibrations correspondant à chaque ton: c'est par ce moyen qu'on a trouvé les nombres que contient le tableau précédent. Il suffit de mettre dans la formule les valeurs des différentes quantités qui y entrent, et on les observe facilement en employant une corde métallique qu'on tend jusqu'à ce qu'elle donne le *la*, en lui faisant porter des poids connus. D'ailleurs, quand on connaît le nombre des vibrations qui donnent le *la*, le second tableau de la page 303 permet de calculer par de simples proportions les nombres de vibrations correspondant à tous les autres tons de la gamme.

La formule de Taylor peut prendre une autre forme, quand on y remplace C par sa valeur exprimée en fonction de la densité, de la longueur et du rayon de la corde; elle devient alors :

$$N = \frac{K\sqrt{\frac{P}{d}}}{R\,L}$$

R désignant le rayon de la corde.

d sa densité.

K un coefficient qui ne change pas quand la pesanteur reste la même, et qui est d'ailleurs facile à calculer.

Présentée ainsi, elle fait voir que :

1°. Le nombre de vibrations que fait une corde en 1″, est proportionnel aux racines carrées des poids qui la tendent.

2°. Les nombres de vibrations que font différentes cordes en 1″, sont, toutes choses égales d'ailleurs, en raison inverse des racines carrées de leurs densités.

3°. Ils sont en raison inverse des rayons de ces cordes ou de leurs diamètres.

4°. Ils sont en raison inverse de leurs longueurs.

Une corde qui résonne fait toujours entendre plusieurs sons à la fois : une oreille attentive en distingue facilement trois, qui correspondent à des nombres de vibrations qui sont entre eux comme les nombres 1, 3, 5; 1 représentant le nombre de vibrations qui correspond au son fondamental, 3 et 5 représentant les deux autres sons qui sont toujours plus faibles.

Sauveur pense que quand une corde vibre, outre le mouvement que nous lui avons reconnu page 284, elle en a encore plusieurs autres; il admet que chacune de ses moitiés vibre séparément; qu'il en est de même de chacun de ses tiers, de ses quarts... : la *fig.* 135 représente la forme due à quelques-uns de ces mouvemens. Une expérience due à ce physicien peut donner quelque vraisemblance à ces divisions :

On dispose une corde sur un sonomètre (cet instrument consiste en une caisse en bois destinée à renforcer le son et à soutenir les chevalets), puis on la partage en un nombre quelconque de parties égales, en cinq par exemple, et on

place vers l'un des points de division un chevalet mobile qui doit avoir une hauteur un peu plus grande que la distance de la corde à la caisse, afin que la corde y soit un peu pressée par l'élasticité. De petites bandes de papier pliées en deux sont ensuite placées sur chaque point de division et sur le milieu de chacune des parties dans lesquelles la corde a été divisée seulement d'un côté du chevalet mobile, et on fait vibrer la portion de corde située de l'autre côté. Toute la corde vibre alors en même temps, et le son rendu est le même que celui que donnerait une corde ayant une longueur égale à une partie (dans ce cas à un $\frac{1}{5}$ de la corde totale); les petites bandes de papier qui occupent les points de division restent en repos, et les autres sont renversées. La seconde partie de cette expérience explique, comme on voit, la première, puisqu'elle prouve que chaque partie de la corde vibre séparément; ainsi le chevalet étant aux $\frac{2}{5}$, les trois cinquièmes rendent le même son que les deux cinquièmes, parce que chaque cinquième vibre séparément.

Membranes et surfaces vibrantes. Nous avons dit page 300 comment M. Savart dispose les membranes qu'il veut faire vibrer, et comment il les ébranle par l'approche d'un corps sonore; ce savant a essayé d'analyser la série de divisions par lesquelles peut passer une même membrane. Nous allons rapporter les observations qu'il a faites sur ce sujet (ann. de phys. et de chim., t. 32, pag. 386):

« Pour plus de simplicité, je supposerai toujours qu'on ait d'abord obtenu une figure composée de lignes nodales rectilignes qui se coupent rectangulairement, et j'examinerai par quel chemin cette figure peut passer à une autre, composée simplement de lignes parallèles.

» Par exemple, je suppose qu'on soit parvenu à produire le mode de division représenté par le n° 1 de la *fig.* 136; si la tension de la membrane est constante et que le son devienne un peu plus aigu, il pourra arriver que les angles opposés au sommet en aa', bb', cc', dd', se désunissent

comme dans le n° 2, qui prendra peu à peu l'aspect des n°s 3, 4 et 5, si le son monte toujours; et ensuite celui du n° 6, composé seulement de 4 lignes parallèles; mais ce moyen de passer du premier mode de division à celui du n° 6, par cette première espèce de séparation des angles, n'est pas le seul que puisse employer la membrane; les *fig.* 137 et 138 présentent des exemples de transformations différentes par lesquelles elle peut encore parvenir au même but de 4 lignes parallèles. Il peut aussi arriver, *fig.* 139, que les angles opposés en *aa'*, *bb'*, *cc'*, *dd'*, soient ceux qui se divisent d'abord, et que la figure tracée par le sable prenne successivement l'aspect des n°s 2, 3, 4, 5 et 6; ou bien que cette division ait lieu comme dans les n°s 2, des *fig.* 140 et 141, ce qui produira encore de nouvelles modifications dans les figures successives qui conduiront à 4 lignes parallèles. Enfin il pourra même se faire que les angles opposés se divisent comme dans le n° 2 de la *fig.* 142, qui passe au n° 6, par de simples inflexions des lignes droites en sens contraire.

» Maintenant 4 lignes parallèles peuvent passer à d'autres nombres de lignes parallèles ou dirigées rectangulairement : la *fig.* 143 présente une transformation de ce mode de division à deux lignes nodales parallèles, et la *fig.* 144 un passage du même mode de division à 4 lignes également parallèles, mais coupées rectangulairement par deux autres droites.

» En général, quand on part d'une figure composée de lignes qui se coupent rectangulairement, le caractère des modifications successives dépend de la manière dont les angles opposés au sommet se désunissent : c'est ce qu'on peut voir d'une manière fort nette dans les *fig.* 145 et 146 qui sont des passages de 4 lignes parallèles. Au contraire, si l'on part des lignes parallèles, on peut dire en général que le caractère des modifications dépend des inflexions diverses que ces lignes peuvent affecter : c'est ainsi que, dans les mêmes *fig.* 145 et 146, les n°s 5, considérés comme première modification des lignes droites, doivent produire des phénomènes

tout différens, dépendant de ce que dans l'un les lignes se courbent d'abord en dehors, tandis que dans l'autre elles se courbent en dedans. Mais, de toutes les modifications auxquelles les lignes droites peuvent donner naissance, il n'en est point qui offrent des phénomènes plus singuliers que ceux qui résultent des inflexions alternatives que ces lignes peuvent d'abord prendre, selon qu'il se présente deux courbures dans un sens et une dans l'autre, ou trois dans un sens et deux dans l'autre, etc., etc. On en voit des exemples remarquables, *fig.* 147 et 148.

» Il résulte donc de ces observations, non seulement que les membranes carrées sont susceptibles de produire tous les nombres possibles de vibration, et que pour chacun de ces nombres elles se divisent d'une manière particulière, mais encore qu'un même nombre de vibrations peut être donné par plusieurs modes de division. Quant aux membranes dont les contours sont différens, circulaires, triangulaires, etc., elles présentent des phénomènes analogues quoique plus compliqués. C'est ainsi, par exemple, que, dans une membrane circulaire, trois lignes diamétrales peuvent passer graduellement à trois lignes parallèles, et ensuite à une seule diamétrale accompagnée d'une ligne circulaire, *fig.* 149 à 154; que cinq diamétrales peuvent passer à 5 lignes parallèles, *fig.* 155 à 157, et de là à d'autres modes de division, par exemple, à deux lignes circulaires divisées par une seule diamétrale.

» Les transformations successives des lignes nodales sont beaucoup plus difficiles à observer sur les lames rigides que sur les membranes, parce que, comme on ne peut produire des modes de division donnés qu'en rendant immobiles plusieurs points de la surface de ces corps, il arrive presque toujours que ces points appartiennent en même temps à un ou plusieurs autres systèmes de lignes nodales, de sorte qu'on tombe souvent d'un son très-grave à un son très-aigu et réciproquement, sans pouvoir passer par les intermédiaires ».

Plusieurs physiciens, parmi lesquels on remarque M. Chladni et M. Savart, ont étudié les vibrations des lames élastiques de diverses formes. Pour les mettre en expérience, on fixe un de leurs points en le pressant entre deux doigts ou mieux dans une pince comme celle que représente la *fig.* 158; cette pince doit être fixée à une table par pression au moyen de la vis T, et la plaque doit être pressée entre la vis P et la saillie C; les vibrations sont déterminées au moyen d'un archet. M. Savart a publié dans un mémoire inséré dans les annales de physique et de chimie, tom. 36, pag. 191, le résultat de ses recherches sur ce sujet; nous ne saurions mieux faire que d'en donner ici un extrait:

« Je suppose maintenant qu'on fasse résonner une lame circulaire dont le centre soit immobile, et qu'elle présente le mode de division composé de deux lignes nodales diamétrales, qui se coupent rectangulairement; dans ce cas, les parties les plus fines de la poussière se réunissent sur le milieu de chacune des quatre parties vibrantes, et elles y forment un petit amas animé de divers mouvemens; si l'on remarque ces quatre points, et qu'on cherche ensuite à produire la figure qui est composée de deux lignes diamétrales et d'une ligne circulaire, on trouve que cette dernière ligne passe justement par les quatre points qu'on avait marqués sur la lame. Si ensuite l'on produit le mode de division composé de trois lignes nodales diamétrales, ce qui donne six parties vibrantes qui présentent chacune un point formé par la poussière fine, on observe de même qu'on ébranlant ensuite la lame de manière à obtenir la figure où il y a aussi trois lignes diamétrales, mais coupées par une ligne circulaire, cette dernière ligne passe toujours par les points où s'étaient réunies les parcelles de poussière fine à l'occasion du mode de division précédent. La même épreuve étant faite lorsque la lame présente quatre, six, huit, dix lignes nodales diamétrales, on reconnaît de même qu'elle est le siège d'un mode de division que j'appelerai secondaire, et qui se compose du même nombre de lignes diamétrales que le mode principal, et de plus d'une

ligne nodale circulaire. Lorsque la figure principale est formée par un grand nombre de lignes diamétrales, comme les amplitudes des oscillations sont peu considérables, la ligne circulaire de la figure secondaire se trace presque entièrement, de sorte qu'on ne peut pas douter que les petits amas de poussière fine, qui se présentent à l'observation lorsque le nombre des diamètres est très-petit, ne soient les rudimens d'une ligne nodale circulaire; et si l'on pouvait avoir quelques doutes à ce sujet, il suffirait, pour les lever, de remarquer que ces petits amas s'allongent d'autant plus que le diamètre des lames devient plus petit, l'épaisseur et le mode de division demeurant d'ailleurs les mêmes, de sorte que, passé un certain terme, la ligne circulaire se trace presque entièrement; ce qui indique que, si dans les lames très-grandes elle se réduit à des points placés sur le milieu de chaque ventre de vibrations de la figure principale, c'est que l'amplitude des oscillations étant très-grande, le milieu de chacun de ces ventres est le seul endroit où la lame reste presque plane et horizontale, où par conséquent la poussière peut se réunir, tandis qu'à droite et à gauche de ce point la surface étant inclinée, les parcelles de poussière ne peuvent pas s'y arrêter.

» Ainsi qu'il était naturel de le présumer, les lignes nodales diamétrales de la figure secondaire sont placées dans les mêmes lieux que celle de la figure principale; c'est ce qu'on peut prouver facilement en plaçant une lame circulaire dans une pince armée de deux mâchoires de bois minces et assez longues pour qu'elles puissent serrer dans toute sa longueur l'une des diamétrales de la lame, disposition qui n'empêche pas les vibrations de se produire comme à l'ordinaire. On reconnaît, par ce procédé, que la figure secondaire se prononce aussi nettement que si la lame n'était fixée qu'à son centre, d'où il faut conclure que ce n'est pas le milieu d'un ventre de vibration du mode secondaire de division qui correspond à chaque ligne nodale de la figure principale, mais que les diamétrales nodales des deux mouvemens se superposent

exactement. D'après cela il ne paraît pas douteux que, dans le cas des lignes circulaires seules, il y a des lignes secondaires qui occupent le même lieu que les lignes nodales principales; ce qu'on peut d'ailleurs prouver directement, en observant que ces dernières lignes peuvent aussi être touchées avec les doigts, et même pincées, en quelque point de leur étendue, entre les mâchoires d'un étau, sans que le mouvement secondaire cesse de se produire.

» Cette coexistence de deux modes de division s'observe non seulement quand la figure principale ne présente que des lignes nodales diamétrales, mais encore quand les lignes de cette espèce sont coupées par un plus ou moins grand nombre de lignes circulaires. Dans tous ces différens cas, la figure secondaire se compose toujours du même nombre de diamétrales que la figure principale, et le nombre des lignes circulaires étant représenté par n, celui des lignes circulaires secondaires l'est par $2n+1$, en admettant qu'outre les lignes secondaires apparentes, il y en a encore autant que de principales, et qui sont cachées par elles, ainsi que cela a lieu pour les lignes nodales diamétrales. En admettant aussi cette superposition pour le cas des lignes circulaires seules, et en considérant le point formé par la poussière, au centre des disques, comme un cercle d'un diamètre infiniment petit, on peut dire encore que dans ce cas le nombre des lignes principales étant n, celui des lignes secondaires est $2n+1$.

» D'après ce qui précède, il est donc évident que dans les lames circulaires il y a toujours un mode secondaire de division qui se prononce beaucoup mieux que tous les autres. Mais quelles sont les conditions qui rendent ainsi le mode secondaire tellement dépendant du principal, que, celui-ci étant donné, on peut toujours prévoir celui-là? La solution de cette question paraît assez simple; en effet, parmi tous les modes de divisions qui existent avec le mode principal (et sans doute qu'il y en a un très-grand nombre), ceux qui ont le plus d'analogie avec lui, qui approchent le plus d'être composés du même système de lignes de repos, doivent se

prononcer plus fortement que les autres; et, de tous ceux qui pourront remplir cette condition, celui qui sera le plus simple, sera aussi celui dont les parties vibrantes forment les plus grandes excursions. Ainsi, par exemple, dans le cas de deux lignes diamétrales qui se coupent rectangulairement, de toutes les figures secondaires composées d'abord de deux lignes rectangulaires, la plus simple, celle qui approche le plus d'être réduite à ces deux lignes, c'est celle qui s'accompagne d'une seule ligne circulaire; c'est aussi cette figure qui existe toujours avec le mode de division dont nous venons de parler. Il résulte de là, ce qui est d'ailleurs conforme à l'observation, que la figure secondaire doit être composée de parties vibrantes plus petites que celles de la figure principale, et que les sons secondaires doivent toujours être plus aigus que les sons principaux.

» Mais maintenant, pourquoi le mode de division secondaire ne peut-il être marqué que par une poussière plus fine que celle qui trace la figure principale, comme s'il y avait une certaine liaison entre les amplitudes des excursions des parties vibrantes, et le dégré de ténuité des parcelles de poussière qui peuvent dessiner les lignes nodales? D'abord, je remarquerai que, quelle que soit la poussière qu'on emploie, elle peut toujours se rassembler sur les lignes de repos du mode principal de division; et que c'est seulement la figure secondaire qui ne peut être indiquée que par une poussière très-fine. Or, si l'on fait attention à la différence qu'il y a entre du sable, qui est un assemblage de petits globules indépendans les uns des autres, et une poussière très-ténue, comme du lycopode, par exemple, ou même comme la poussière qui se dépose sur les meubles, dont toutes les parties contractent entre elles, et avec la surface de la lame une certaine adhérence, on concevra facilement que ces substances, d'ailleurs si déliées, étant placées sur le milieu d'une partie vibrante du mode principal de division, peuvent, sans se désunir, être transportées avec la partie de la lame sur laquelle elles reposent, surtout

si elles se trouvent placées sur une ligne nodale du mouvement secondaire, c'est-à-dire, entre deux portions de disque qui oscillent en sens contraire.

» Pour pouvoir répéter les expériences dont je viens de parler, il faut employer des disques de laiton de plusieurs décimètres de diamètre et de deux ou trois millimètres d'épaisseur; il est indispensable qu'ils soient bien plans, d'égale épaisseur partout; et, pour qu'ils ne présentent point d'inégalité de densité, ni de rigidité, il est nécessaire de les faire recuire avant de les battre, et de n'employer pour cela qu'un marteau de bois un peu lourd. Ils seront toujours assez raides et assez sonores lorsqu'ils seront bien plans ».

M. Savart a encore observé que, dans certains cas, les lignes nodales oscillent ou même éprouvent un mouvement de rotation. Nous allons donner ici un extrait du mémoire qu'il a publié sur ce sujet (Ann. de phys. et de chim., t. 36, p. 257):

« Le nombre et la disposition des parties vibrantes d'un corps dépendent du lieu de l'ébranlement, de la forme même du corps, de sa nature, de ses dimensions et de la position des points de son étendue qu'on a préalablement rendus immobiles.

» Dans certains cas, on ne peut changer aucune des conditions sans que l'arrangement des parties vibrantes soit altéré, et dans d'autres, au contraire, le même arrangement peut avoir lieu quand même une ou plusieurs de ces circonstances viennent à varier. C'est ainsi, par exemple, que quand on promène un doigt mouillé sur les bords d'une cloche d'harmonica, elle ne laisse pas de se diviser de la même manière et de faire entendre le même son, quoique le lieu de l'ébranlement varie continuellement. Il en est de même d'une lame circulaire dont le centre est immobile; on peut ébranler un point quelconque, sans que le mode de division subisse aucun changement : seulement la position des parties vibrantes varie, parce que le lieu de l'ébranlement doit toujours être le

milieu d'une de ces parties; de sorte que, si l'archet, en même temps qu'il est animé d'un mouvement de va et vient, tournait tout autour de la lame d'un mouvement uniforme, en restant parallèle à lui-même, les parties vibrantes se déplaceraient en même temps et elles le suivraient en devenant le siège d'un mouvement de rotation continu. Mais ce qui est bien remarquable, ce mouvement de rotation du système des parties vibrantes peut s'établir, quoique le lieu de l'ébranlement demeure le même, et il semble que pour cela il suffise d'abandonner la lame à elle-même après qu'elle a été mise en vibration.

» Je suppose, par exemple, qu'on ait une lame circulaire fixée par son centre, et qu'elle présente l'un des modes de division qui ne sont composés que de lignes nodales diamétrales, l'expérience montre que ces lignes demeurent parfaitement immobiles, tant que l'archet touche le disque; mais s'il vient à le quitter subitement, ce qui n'empêche pas le mouvement de subsister encore pendant plusieurs secondes, les lignes de repos oscillent autour de la position qu'elles occupaient d'abord, et elles n'y reviennent que quand le mouvement de vibration est sur le point de cesser. Lorsque le nombre des oscillations est assez grand dans un temps très-court, le sable devient un moyen insuffisant pour constater la position variable des lignes nodales, parce qu'il est alors chassé avec trop de violence pour fournir des indications bien nettes; mais on peut lui substituer une poussière fine susceptible d'adhérer légèrement à la surface de la lame et par conséquent de dessiner le mode secondaire de division : les petits amas qu'elle forme, au milieu de chaque partie vibrante principale, sur la trace de la ligne circulaire secondaire, peuvent être entraînés le long de cette ligne sans se désunir, à cause de l'adhérence que contractent entre elles les parties qui les composent, et ils indiquent parfaitement la position variable des ventres de vibration et par conséquent celle des lignes nodales principales. L'amplitude de ces oscillations est d'autant plus considérable qu'on promène l'archet avec plus de

vitesse, et qu'on le sépare plus vivement de la lame vibrante, de sorte qu'il peut arriver que l'oscillation soit assez grande pour que les lignes nodales entraînées au-delà du milieu de l'intervalle qui les séparait de leur première position, soient transportées dans le même sens, jusqu'à ce qu'elles aient parcouru toute l'étendue d'une partie vibrante entière. On conçoit que parvenues dans cette nouvelle position, elles ne peuvent pas s'y arrêter subitement et qu'elles doivent osciller de nouveau, c'est aussi ce qui a lieu. Tandis que ces nouvelles oscillations s'exécutent, si l'on vient à donner un second coup d'archet, en ébranlant toujours la lame par le même point de sa circonférence, on déterminera les lignes nodales à faire un nouveau pas; et si les coups d'archet se suivent à des intervalles réglés, on verra les petits amas de poussière passer successivement par tous les ventres de vibration, s'y arrêter un instant, pour se porter ensuite sur la partie vibrante voisine; mais si l'on multiplie vivement les coups d'archet, le milieu de chaque ventre de vibration cesse d'être indiqué par la stagnation momentanée de la poussière, et le système des parties vibrantes devient le siège d'un mouvement de rotation qui est indiqué par un courant continu de poussière, ressemblant à un petit nuage affectant la forme d'un anneau (*fig.* 159). Le sens de ce mouvement est subordonné à des circonstances que je n'ai pu saisir; tantôt les ondulations des parties vibrantes se propagent de droite à gauche, tantôt de gauche à droite. Seulement j'ai remarqué que, pour l'entretenir, lorsqu'il était une fois produit, il ne fallait pas remonter l'archet en touchant exactement le même point de la circonférence de la lame contre lequel il frottait en descendant, et qu'il fallait le reporter un peu à droite ou un peu à gauche, en le ramenant ensuite à sa première position lorsqu'on le faisait redescendre.

» Quant à la position même que le courant occupe, elle dépend de celle de la ligne circulaire secondaire sur laquelle la poussière tend à se réunir: ainsi, plus le nombre des diamètres augmentera, plus le courant se rapprochera du bord de la lame.

» Il ne paraît pas que le nombre plus ou moins considérable des parties vibrantes influe sur la facilité avec laquelle le mouvement d'oscillation ou de rotation peut s'établir : on l'observe lorsque la circonférence de la lame se divise en quarante ou cinquante parties vibrantes, de même que quand elle ne se partage qu'en un bien moindre nombre. Il se produit aussi facilement dans les lames d'un petit diamètre que dans celles qui ont de grandes dimensions. Il peut aussi exister lorsque le mode de division se compose de lignes diamétrales coupées par une ou plusieurs lignes circulaires ; mais alors les lignes de cette dernière espèce restent fixes, et il peut arriver que ces parties vibrantes qui sont en dedans d'une ligne circulaire affectent un mouvement de rotation, tandis que celles qui sont en dehors restent immobiles : le contraire peut aussi avoir lieu, et il peut également se faire qu'elles tournent toutes à la fois, mais toujours dans le même sens. Dans ce dernier cas, la poussière forme autant de courans qu'il y a de lignes circulaires apparentes dans le mode secondaire de division ; et tous les courans sont animés de vitesses différentes, ceux qui sont les plus voisins du centre de la lame se mouvant beaucoup plus rapidement que les autres.

» La condition essentielle de la production de ce mouvement consistant en ce que les parties vibrantes puissent se déplacer sans qu'il y ait altération dans le nombre des vibrations, on conçoit qu'on ne pourra l'exciter dans les lames circulaires que lorsqu'elles présenteront des lignes nodales diamétrales, soit seules, soit coupées par des lignes circulaires ; et il est clair qu'il deviendra tout-à-fait impossible pour les lames carrées, triangulaires, etc., dont les parties vibrantes ne peuvent pas changer de place sans qu'il survienne aussi un changement dans le nombre des vibrations : mais on pourra l'exciter dans les anneaux et les timbres, ainsi que dans les cloches proprement dites, parce que ces divers corps peuvent produire le même mode de division, et par conséquent le même nombre de vibrations, quel que

soit le point de leur contour qu'on choisisse pour le lieu de l'ébranlement. Les membranes circulaires en sont également susceptibles, même quand elles sont ébranlées par communication, et que le corps sonore d'où partent les ondes excitées dans l'air, reste dans la même position. Pour parvenir à faire cette dernière expérience, il faut remarquer qu'une membrane qui vibre par communication peut, lorsqu'on l'ébranle de très-près, non seulement renforcer le son du corps qui la met en jeu, mais encore produire un son distinct de celui du corps qui lui communique le mouvement, quoique les sons des deux corps demeurent toujours à l'unisson : c'est dans ce dernier cas qu'une membrane devient très-facilement le siège du mouvement de rotation des parties vibrantes. La poussière qu'on y répand, animée du mouvement tangentiel, forme alors des espèces de courans qui circulent avec beaucoup de vîtesse et quelquefois dans des sens très-divers, mais seulement quand la tension de la membrane est inégale.

» Lorsque le changement de position des parties vibrantes est borné à de simples oscillations, l'oreille est avertie de leur existence par des alternatives dans l'intensité du son. Ces alternatives ont été remarquées depuis long-temps dans les timbres et particulièrement dans les cloches, mais sans qu'on sût à quoi les attribuer. On peut se convaincre qu'elles dépendent des oscillations des parties vibrantes en versant un peu d'eau dans un timbre qu'on ébranle avec un archet : on remarque que les rides formées à la surface de ce liquide, vis-à-vis chaque ventre de vibration, sont le siège d'oscillations qui coïncident avec les alternatives d'intensité du son, et que le plus grand renforcement a lieu lorsque les parties vibrantes atteignent la limite de leur excursion dans un sens, tandis que la moindre intensité a lieu lorsqu'elles atteignent la limite opposée. Relativement à l'organe de l'ouïe, l'effet est le même que si les parties vibrantes restaient immobiles par rapport au corps sonore, et que ce corps produisît lui-même des oscillations autour d'un point fixe. Quand le

mouvement de rotation s'établit, les alternatives d'intensité disparaissent complètement, et alors le son revêt un caractère particulier, sans qu'on puisse apprécier s'il est plus intense que quand les parties vibrantes sont fixes : j'ai seulement cru remarquer qu'il était moins pur. Mais ce qui n'est pas douteux, c'est qu'il devient plus aigu et d'autant plus que le système des parties vibrantes tourne plus rapidement : quand le nombre des vibrations est considérable et que le corps a de grandes dimensions, le son peut s'élever presque d'un ton ».

Vibrations des fluides. Les fluides peuvent aussi comme les solides être la cause du son, vibrer par eux-mêmes, sans que le mouvement leur soit transmis par un corps solide. M. Cagnard de la Tour a inventé un instrument qu'il appelle *sirène*, au moyen duquel on peut facilement démontrer ce fait ; en voici la description :

TT′FF′, *fig.* 160, boîte cylindrique en cuivre dont la paroi supérieure TT′ est plane, bien polie et percée de plusieurs trous VV situés à égales distances les uns des autres, et rangés sur une circonférence ayant son centre sur l'axe.

SS′, ouverture pratiquée à la paroi inférieure FF′.

YY′, tuyau qui se visse ou s'ajuste sur l'ouverture SS′. il est destiné à apporter le fluide dans la boîte cylindrique.

PP′, plateau mobile dont la surface inférieure s'applique exactement sur la table TT′, sans cependant exercer de frottement sensible ; ce plateau est percé d'un nombre d'ouvertures UU égal à celui des ouvertures de la table ; et quand il est placé convenablement, elles peuvent leur correspondre.

X, axe autour duquel le plateau PP′ peut tourner.

I, vis sans fin qui termine l'axe de rotation X.

RR′, roue de 100 dents que la vis sans fin fait mouvoir de manière à passer une dent à chaque tour qu'elle fait.

CC′, roue que meut un bras fixé à la précédente, de manière qu'elle ne passe qu'une dent à chaque tour de la roue RR′.

Les axes de ces roues portent des aiguilles qui parcourent des cadrans divisés, et indiquent à chaque instant, l'une les centaines de tours faits par l'axe, l'autre le nombre des tours faits par l'axe depuis le commencement d'une nouvelle centaine.

Quand on veut mettre l'appareil en jeu, on fait arriver par le tuyau YY′ un courant d'air condensé ; cet air sort par les ouvertures pratiquées dans la table et dans le plateau pendant qu'elles se correspondent ; et, comme on a eu soin de percer les ouvertures du plateau obliquement, il le fait tourner avec une vîtesse qui croît de plus en plus : son action est analogue à celle du vent sur les ailes d'un moulin. La correspondance des trous est d'autant plus fréquente que que le mouvement est plus rapide et que le nombre des trous est plus grand ; elle a toujours lieu évidemment autant de fois qu'il y a d'unités dans le produit du nombre de trous par le nombre de tours : il en résulte que le son devient de plus en plus aigu, parce que le nombre des ondulations excitées dans l'air est le même que le nombre des coïncidences ; chaque coïncidence donnant lieu à la sortie d'une certaine quantité d'air condensé, et par suite à la formation d'une onde.

Au lieu d'air condensé, on peut faire arriver dans la caisse de l'eau condensée par le poids d'une colonne de ce liquide ; il suffit pour cela qu'elle vienne par un tuyau coudé d'un réservoir situé plus haut que l'instrument. La sirène peut encore faire entendre le son qu'elle rend dans ce cas, quand on la plonge totalement dans l'eau ; il n'en paraît même que plus pur.

Beaucoup d'autres moyens peuvent être employés pour faire résonner les fluides ; la seule condition nécessaire à remplir pour atteindre ce but est de déterminer des ondes qui se succèdent assez rapidement pour affecter l'organe : les principes posés précédemment s'appliquent à tous les cas.

Vibrations dans les tuyaux sonores. Les tuyaux sonores avec lesquels on compose les orgues sont ordinairement

analogues au sifflet ou au flageolet. On y remarque le *pied*, la *bouche* et le *tuyau* : le pied apporte l'air condensé ; la bouche fait *parler*, c'est-à-dire qu'elle brise le vent et occasionne des vibrations ; le tuyau contient la colonne d'air qui doit vibrer et produire le son. Dans le sifflet, le pied PP', *fig.* 161, apporte le vent par la lumière *ll'* ; la bouche *bb'* a sa *lèvre inférieure* au bord *b* de la lumière, et sa *lèvre supérieure* au *biseau b'*. Dans le tuyau d'orgue, *fig.* 162, le pied est creux, et la lumière *ll'* est une fente qui peut donner issue à l'air condensé dans le réservoir par le jeu des soufflets. La bouche peut être plus ou moins ouverte, c'est-à-dire que la lèvre supérieure peut être plus ou moins éloignée ; on dispose aussi l'instrument de manière qu'on puisse l'ouvrir ou la fermer à volonté : la distance des deux lèvres se nomme la *largeur de l'ouverture*, parce qu'elle en est ordinairement la plus petite dimension ; la dimension perpendiculaire est appelée la *longueur de l'ouverture*. La longueur de l'ouverture peut être diminuée aussi au moyen de petites lames disposées à cet effet ; c'est ce qu'on nomme les *oreilles*.

Quand on fait arriver le vent dans un tuyau, on peut lui faire rendre différens sons en changeant la force du vent et la largeur de la bouche ; mais ce qu'il y a de remarquable, c'est que, si on représente par 1 le temps d'une des vibrations auxquelles est dû le son le plus grave ou son fondamental, les autres sons feront pendant le même temps 2, 3, 4, 5 ou 6..... vibrations : on ne parvient jamais à faire rendre au tuyau des sons non compris dans cette série.

Si on diminue la longueur de l'ouverture, le son devient plus grave et n'est plus compris dans la série précédente.

Le son fondamental dépend de la longueur du tuyau : plus elle est considérable et plus le son fondamental est grave. Il est indépendant de la largeur du tuyau, pourvu qu'elle soit petite par rapport à la longueur, au plus $\frac{1}{10}$ ou $\frac{1}{20}$ de cette dimension.

Quand un tuyau ne fait pas entendre le son fondamental, la colonne d'air qui l'occupe se partage d'elle-même en 2, 3, 4..... parties égales qui vibrent séparément, suivant que le nombre des vibrations est 2, 3, 4..... fois plus grand que celui qui correspond au son fondamental. On peut rendre cette division sensible en perçant des trous dans la paroi du tuyau vers les points de division; l'air y étant en repos, le son n'en éprouve aucune altération, tandis qu'il change toujours quand on perce la paroi vers le milieu des divisions, parce que l'air étant condensé en ces endroits, cesse de l'être quand il est en communication avec l'extérieur : on peut aussi enlever une ou plusieurs parties du tuyau dans lesquelles vibrent séparément des colonnes d'air, sans que le son soit altéré.

Il n'en est pas tout-à-fait ainsi d'un tuyau fermé; le son fondamental est le même que celui d'un tuyau ouvert ayant une longueur double : les sons plus aigus qu'il est susceptible de rendre correspondent à des nombres de vibrations 3, 5, 7...., fois plus grands, et la division en parties qui vibrent séparément est identique avec celle qu'on obtiendrait si on concevait fermé, par une cloison située au milieu, un tuyau ouvert d'une longueur double au moment où il rend le même son, et si on supposait enlevée la moitié la plus éloignée du pied; et cela, sans que la condensation soit changée en aucun point.

La nature des parois du tuyau n'est pas sans influence sur les sons rendus; toutes choses égales d'ailleurs, elle peut changer considérablement le dégré d'acuité du son fondamental. M. Savart, qui a fait beaucoup d'expériences intéressantes avec des tuyaux de parchemin ou de papier collé sur de petits montans en bois, a constaté que le son pouvait s'abaisser d'une octave ou même de deux octaves quand on mouillait de plus en plus les parois du tuyau : plus il est court et plus le son peut baisser.

Vibrations des anches. Une anche se compose essentiellement d'une lame qui peut être mise en mouvement de vibra-

tion par un courant d'air. La *fig.* 163 en représente une des plus simples : ABCD est une ouverture rectangulaire longue de 3 centimètres et large de 7 ou 8 millimètres, pratiquée dans une plaque de métal ; LL′ est une lame de cuivre très-mince et très-élastique, et de dimensions convenables pour qu'elle puisse vibrer dans l'ouverture en en rasant les bords à l'un desquels elle est soudée.

Quand on veut faire résonner cet instrument, il faut appuyer les lèvres sur les bords de l'ouverture, et souffler contre l'extrémité libre de la lame ; l'air écarte la lame, passe en petite quantité, puis la lame revient en vertu de son élasticité, et s'écarte de nouveau poussée par l'air condensé dont il sort encore une petite quantité : toujours rappelée par son élasticité et repoussée ensuite par l'air, la lame exécute ainsi une série de vibrations pendant chacune desquelles il sort une petite bouffée d'air condensé qui produit une onde dans l'atmosphère. Le dégré d'acuité du son dépend du nombre des vibrations effectuées dans 1′, et par conséquent de la longueur de la lame : on peut sur une même plaque disposer plusieurs anches qui donnent les différens tons de la gamme, et se procurer ainsi un petit instrument avec lequel on parvient à jouer des airs. Les anches ajustées de diverses manières forment les embouchures de clarinette, de basson, de hautbois et de plusieurs autres instrumens.

Distribution de la chaleur sur la terre. Les physiciens ont fait un grand nombre d'expériences sur la distribution de la chaleur dans les diverses parties de notre globe, et en ont conclu des faits généraux. Plusieurs théories ont aussi été proposées pour expliquer l'élévation de température qu'on observe en s'enfonçant de plus en plus au-dessous de la surface de la terre, et d'autres faits intéressans ; mais ces théories, les unes absurdes, les autres peu probables, ont été successivement abandonnées, et maintenant les savans sont encore en contradiction sur presque tous ces sujets.

Nous n'indiquerons ici que les résultats et les moyens qu'on a employés pour y arriver, et qui peuvent servir à en obtenir d'analogues.

Température de l'air à la surface de la terre. La température de l'air se mesure avec le thermomètre ordinaire; il faut seulement avoir le soin de l'exposer au nord, afin qu'il ne reçoive pas directement l'action du soleil; il faut aussi que l'air circule librement autour de lui, afin qu'il en prenne exactement la température.

Les observations suivies se font ordinairement à trois époques différentes de la journée :

Au lever du soleil;
A deux heures après midi;
Au coucher du soleil.

La moyenne entre les trois résultats est la *température moyenne* de la journée.

A l'Observatoire de Paris, on prend pour moyenne de la journée la moyenne entre la température *maximum* et la température *minimum*.

Ces deux méthodes donnent à peu près les mêmes résultats qui s'écartent peu de la moyenne vraie qu'on ne peut obtenir rigoureusement qu'en faisant un grand nombre d'observations à des instans très-rapprochés, et en divisant la somme des températures observées par le nombre des observations.

La *température moyenne d'un mois* est la moyenne entre les températures moyennes des jours qui composent ce mois; et la *température moyenne de l'année* est la moyenne entre les températures moyennes des douze mois qui la forment.

Pour obtenir ces diverses quantités avec une approximation suffisante, il n'est pas nécessaire de faire un aussi grand nombre d'observations que nous l'avons indiqué; l'expérience prouve qu'en cherchant la moyenne entre les températures observées à neuf heures du matin pendant chaque jour d'un mois, on a à peu près la température moyenne de ce mois.

On peut aussi, sans commettre une grande erreur, prendre dans beaucoup de pays la moyenne température du mois d'octobre pour la température moyenne de l'année. Les tableaux suivans font voir jusqu'à quel point on peut compter sur ces méthodes approximatives.

1°. *Comparaison des vraies moyennes et de celles qui seraient données par les observations de* 9 *heures pour l'Observatoire de Paris*, année 1829.

NOMS DES MOIS.	Moyennes températures des mois.	Moyennes températures de 9 h. du mat.
Janvier.	— 2° 0	— 2° 6
Février.	+ 2 7	+ 2 6
Mars.	+ 5 7	+ 5 6
Avril.	+ 9 8	+ 11 1
Mai.	+ 14 9	+ 16 4
Juin.	+ 17 1	+ 19 1
Juillet.	+ 18 6	+ 19 3
Août.	+ 17 0	+ 18 3
Septembre.	+ 13 7	+ 15 0
Octobre.	+ 10 0	+ 9 9
Novembre.	+ 4 7	+ 4 2
Décembre.	— 3 5	— 4 1
Moyennes.	+ 9 1	+ 9 6

1°. *Comparaisons des vraies moyennes et des moyennes données par le mois d'octobre* (Humboldt, *Mémoires d'Arcueil*, t. III).

NOMS DES LIEUX.	TEMPÉRATURE moyenne de l'année.	TEMPÉRATURE moyenne du mois d'octobre.	TEMPÉRATURE moyenne du mois d'avril.
Le Caire.	20° 4	22° 4	25° 5
Alger.	21 0	22 3	17 0
Natchez.	18 9	20 2	19 1
Rome.	15 8	16 7	13 0
Milan.	13 2	14 5	13 1
Cincinnati.	12 0	12 7	13 8
Philadelphie.	11 9	12 2	12 0
New-Yorck.	12 1	12 5	9 5
Pékin.	12 6	13 0	13 9
Bude.	10 6	11 3	9 5
Londres.	11 0	11 3	9 9
Paris.	10 6	10 7	9 0
Genève.	9 6	9 6	7 6
Dublin.	9 2	9 3	7 4
Edimbourg.	8 8	9 0	8 3
Gottingue.	8 3	8 4	6 9
Franecker.	11 3	12 7	10 0
Copenhague.	7 6	9 3	5 0
Stockholm.	5 7	5 8	3 6
Christiana.	5 9	4 0	5 9
Upsal.	5 4	6 3	4 3
Quebec.	5 5	6 0	4 2
Pétersbourg.	3 8	3 9	2 8
Abo.	5 2	5 0	4 9
Drontheim.	4 4	4 0	1 3
Uleo.	0 6	3 3	1 2
Uméo.	0 7	3 2	1 1
Cap-nord.	0 0	0 0	— 1 0
Enontekies.	— 2 8	— 2 5	— 3 0
Nain.	— 3 1	+ 0 6	— 2 5

Le second tableau que nous venons de donner prouve

encore que les températures moyennes du mois d'avril sont en général un peu plus faibles que les températures moyennes de l'année.

Dans chaque lieu la moyenne varie un peu d'une année à l'autre; mais si on prend la moyenne entre les températures moyennes d'un grand nombre d'années, de vingt par exemple, alors il n'y aura plus de variation sensible; elle sera la même que la moyenne de vingt autres années, et on aura ce qu'on nomme la *température moyenne du lieu* où les observations ont été faites. A Paris, la moyenne peut se déduire des moyennes des vingt-et-une années suivantes (1):

1806.	12°	1
1807.	10	8
1808.	10	3
1809.	10	6
1810.	10	6
1811.	12	0
1812.	9	9
1813.	10	2
1814.	9	8
1815.	10	5
1816.	9	4
1817.	10	4
1818.	11	4
1819.	11	1
1820.	9	8
1821.	11	1
1822.	12	1
1823.	10	4
1824.	11	1
1825.	11	7
1826.	11	4

(1) Voyez les mémoires sur les observations météorologiques faites à l'Observatoire royal de Paris, 1827, par M. Bouvard.

On la trouve égale à 10°,8. Dans beaucoup d'autres lieux, la moyenne est la même qu'à Paris ; ces lieux sont disposés de manière que, si on les joignait, on obtiendrait une ligne irrégulière et sinueuse, très-différente du parallèle de Paris ; c'est à cette ligne et à toutes les analogues qu'on donne le nom de *ligne isotherme*. On nomme *bande isotherme* ou *zône isotherme* l'espace compris entre deux lignes isothermes. Les tableaux suivans font connaître, en en indiquant les principaux points, les positions de six zônes isothermes, en lesquelles on peut diviser l'hémisphère boréal :

Zône torride, bande isotherme de 30 à 23° 5.

NOMS DES LIEUX.	Latitud.	Longitud	Hauteur.	Température moyenne	
Pondichéry. . . .	11°55' N.	77°32' E.	0	29,6	
Cumana.	10 27 N.	67 35 O.	0	27,7	
S.-Louis de Maranhan.	2 29 S.	»	0	27,4	A. Pereira Lago.
Bocford (Jamaïque).	18	»		27,0	Hunter.
Batavia.	6 12 S.	104 34 E.	0	26,9	
Madras.	13 4 N.	78 9 E.	0	26,9	
Bombay.	18 56 N.	70 18 E.	0	26,7	
Sénégal.	16 53 N.		0	26,5	
La Havanne (côtes).	23 9 N.	84 43 O.	0	25,7	
Véra-Cruz.	19 11	98 21 O.	0	25,6	
Manille.	14 36 N.	118 32 E.	0	25,6	
Antilles.	»	»	0	25,6	
Congo.	90	»	215	25,6	Smith.
Benarès.	25 20	»		25,2	
Rio-Janéiro. . . .	22 54 S.	45 38 O.	0	23,5	
Macao.	22 12 N.	111 15 E.	0	23,3	
La Havanne (intérieur des terres). .	»	»	40 tois.	23	
Zône isotherme de 23, 5 à 20°.					
Sainte-Croix de Ténériffe.	28 28'			23,8	Debuch et Escolar.
Bagdad.	33 20 N.	42 5' E.		23,2	
Canton.	23 8	»		22,9	
Le Caire.	30 2 N.	28 58		22,4	
Alger.	36 49 N.	0 41 E.	0	21,1	
Plaines de Ténériffe.	»	»		20,7	

Zône isothérme de 20 à 15°.

Noms des lieux.	Latitud.	Longitud	Hauteur.	Température moyenne	
Naples.	40 50' N.	11 56' E.		19, 5	
Funchal.	32 37	19 16 O.		19, 1	Heineken.
Natchez.	31 26	93 50 O.	30 t.	18, 2	
Toulon.	43 7 N.	3 36 E.	0	16, 7	
Nice.	»	»	0	16, 1	Risso.
Nangasacki.	32 45 N.	1 28 E.	0	16, 0	
Lucques.	43 49	8 45 E.		15, 8	
Rome.	41 54 N.	10 8 E.	0	15, 8	
Gênes.	44 25 N.	6 32 E.		15, 7	
Nismes.	43 51 N.	2 1 E.		15, 7	
Tarascon.	»	»		15, 5	
Alais.	44 10	1 40		15, 4	D'Hombres
Perpignan.	42 42 N.	0 34 E.		15, 3	Firmas.
Montpellier.	43 37 N.	1 33 E.	0	15, 3	
Arles.	43 40 N.	2 17 E.		15,	
Willamsbourg.	»	»		14, 5	
Marseille.	43 18 N.	3 2 E.	—	14, 4	Gambart.
Rieux.	»	»		14,	
Rhodez.	44 21 N.	0 14 E.		13, 9	
Aix.	45 32	3 7		13, 7	
Venise.	45 26 N.	10 1		13, 6	
Bordeaux.	44 50 N.	2 54 O.		13, 5	
Lisbonne.	38 42 N.	11 29 O.		13, 5	
Bologne.	44 29	9 15		13, 5	
Verone.	45 26	8 41		13, 2	
Milan.	45 28 N.	6 58 E.		13, 2	
Lyon.	45 46 N.	2 29 E.		13, 2	
Montauban.	44 1 N.	0 60 O.		13, 1	
Pekin.	39 34 N.	114 8 E.		12, 7	
Tonneins.	»	»		12, 7	
Nantes.	47 13 N.	3 53 O.		12, 6	
Saint-Malo.	48 39	4 21 O.	0	12, 3	
Dax.	43 42	3 23		12, 3	
Cincinnati.	39 6	85 O.	84	12, 1	
New-Yorck.	40 40	76 18 O.		12, 1	
Philadelphie.	39 57 N.	77 32 O.		11, 19	
La Rochelle.	46 10	3 29 O.		11, 87	Fleurieau
Poitiers.	46 35 N.	1 60 O.		11, 5	de Bellevue
Franecker.	52 36	4 2 E.		11, 0	
Bruxelles.	50 51 N.	2 2 E.		11, 0	
Amsterdam.	52 22 N.	2 33 E.		10, 9	
Besançon.	47 14 N.	4 43 E.	134	10, 7	
Bude.	47 29	16 41 E.		10, 6	Palquich.
Paris.	48 50 N.	0 00		10, 6	
Dijon.	47 20 N.	2 42 E.	135	10, 5	
Dunkerque.	51 2 N.	0 3 E.		10, 3	
Vienne.	48 13 N.	14 3 E.	70	10, 3	

NOMS DES LIEUX.	Latitud.	Longitud.	Hauteur.	Température moyenne	
Londres.	51 31	2 26 O.		10,2	
Cambridge.	42 25	73 23		10,2	
Manheim.	49 29	6 8 E.	72	10,1	
Clermont.	45 47 N.	0 46 E.	210	10,	
Ipswich.	52 3	1 6 O.		10,	
Westfield (Massachussetts). . . .	42	»		10	Davis.
Zône isotherme de 10 à 5°.					
Strasbourg.	48°35'	52 5' E.		9,7	Herrenschneider.
Prague.	50 5	12 4 E.	0	9,7	
Genève.	46 12 N.	3 49 E.	180 E.	9,6	
Berne.	46 56	5 6 E.	275	9,6	
Dublin.	53 21 N.	8 39 O.	0	9,5	Kirwan.
Le Caire.	46 50 N.	7 10 E.	312	9,4	
Varsovie.	52 14 N.	18 48 E.	0	9,2	
Edimbourg.	55 58 N.	5 30 O.	0	8,8	Playfair.
Zurich.	47 22	6 12 E.	225	8,8	
Carlscrona.	56 15	»	»	8,5	Vahlenberg.
Gottingue.	51 32	7 33 E.	76	8,3	
Iles Malouines. . . .	51 25	62 19 O.	0	8,3	
Berlin.	52 30	»	»	8,	Ermann.
Kendal.	54 17	5 6 O.	0	7,9	Dalton.
Copenhague.	55 41 N.	10 14 E.	0	7,6	
Fayetteville.	42 58	»	»	7,2	Buld.
Ullesvang.	60 19	»	»	6,5	Hertzberg.
Kœnisberg.	54 30	»	»	6,15	Ermann.
Couvent de Pryssenberg.	47 47	8 14 E.	511	6,2	
Stockholm.	59 21 N.	15 43 E.	»	5,7	
Upsal.	69 54	15 18 E.	»	5,6	
Quebec.	46 47 N.	73 30 O.	»	5,4	
Zône isotherme de 5 à 0°.					
Christiania.	59°57'	8 28'	0	4,9	
Abo.	60 27	19 58 E.	0	4,6	
Moscou.	55 46 N.	35 13 E.	145	4,5	
Drontheim.	63 24	8 2 E.	0	4,4	
Pétersbourg.	59 56 N.	27 59 E.	0	3,8	
Cronstad.	»	»	20	3,6	Tobisène.
Kazan.	55 48	47 9 E.	20	2,5	Kupffer.
Uméo.	63 50	17 56 E.	0	0,7	
Lyafjord (Islande). .	66 30	»		0,6	
Uléo.	65 3	23 6 E.	0	0,6	
Slateouste.	55 8	57	185	0,6	Ewersmann.
Cap-Nord (île Mogiroc).	71 0	23 30 E.	0	0,0	

Régions polaires.

Noms des lieux.	Latitud.	Longitud.	Hauteur.	Température moyenne	
Cumberland-House. .	54°	104° 30′ o.		— 1,0	Franklin.
Nain.	»	115 30 o.		— 3,0	
Fort-Entreprise. . .	64 30	»		— 9,2	*Id.*
Vinter-Island. . .	66 12	85 30		—12,5	Parry.
Ingloolich-Island. .	69 30	84		—13,9	*Id.*
Melleville-Island. .	75	113		—18,5	
En mer.					
En mer.	76 45	3 à 4		— 7,5	Scoresby.
En mer.	78	15 à 18		— 8,3	*Id.*

La connaissance de la température moyenne de l'année ne suffit pas pour donner une idée complète de la température d'un lieu ; il peut arriver que dans ce lieu le dégré de chaleur varie beaucoup, et soit tantôt de beaucoup supérieur, tantôt de beaucoup inférieur à la moyenne ; ou bien il peut arriver, au contraire, que la température soit à peu près constante. Ces différences qui peuvent exister dans deux pays pris sur une même ligne isotherme, ne sont pas moins importantes à connaître que la température moyenne : des observations journalières sont nécessaires pour y arriver ; cependant on acquiert des notions qui suffisent souvent, en cherchant, outre la moyenne de l'année, les moyennes du mois le plus chaud et du mois le plus froid, on y joint aussi les températures *maximum* et *minimum* de l'année. Les tableaux suivans font connaître ces quantités pour Paris et pour quelques autres pays :

NOMS DES LIEUX.	Température moyenne de l'année.	Température moyenn. du mois le plus chaud.	Température moyenn. du mois le plus chaud.	Différences.
Funchal. . .	20, 3	24, 2	17, 2	6, 4
Saint-Malo. .	12, 3	19, 4	5, 4	14, 0
Paris. . . .	10, 6	18, 5	2, 3	16, 2
Londres. . .	10, 2	18, 0	3, 2	15, 8
New-Yorck. .	12, 1	12, 1	3, 7	30, 8
Pékin. . . .	12, 7	12, 7	4, 1	33, 2

Maximum de chaleur (1).

DATES.		TEMPERATURE.	
Années.	Mois.	Dégr. Réaum.	Dégr. cent.
1706	8 août. . .	+ 28, 2	+ 35, 3
1753	7 juillet. . .	+ 28, 5	+ 35, 6
1754	14 juillet. . .	+ 28, 0	+ 35, 0
1755	14 juillet. . .	+ 27, 8	+ 34, 7
1793	8 juillet. . .	+ 30, 7	+ 38, 4
1793	16 juillet. . .	+ 29, 8	+ 37, 3
1800	18 août. . .	+ 28, 4	+ 35, 5
1802	8 août. . .	+ 29, 1	+ 36, 4
1803	8 août. . .	+ 29, 4	+ 36, 7
1808	15 juillet. . .	+ 29, 0	+ 36, 2
1818	24 juillet. . .	+ 27, 6	+ 34, 5

Maximum du froid.

1709	13 janvier. .	— 18, 5	— 23, 1
1716	id.	— 15, 0	— 18, 7
1729	id.	— 12, 2	— 15, 3
1742	10 janvier. .	— 13, 6	— 17, 0
1748	id.	— 12, 2	— 15, 3
1754	8 janvier. .	— 11, 3	— 14, 1

(1) Annuaire du Bureau des longitudes, *année* 1825.

DATES.		TEMPERATURE.	
Années.	Mois.	Dégr. Réaum.	Dégr. centigr.
1755	8 janvier. .	— 12, 5	— 15, 6
1767	id.	— 12, 2	— 15, 3
1768	id.	— 13, 7	— 17, 1
1771	id.	— 10, 9	— 13, 6
1776	29 janvier. .	— 15, 3	— 19, 1
1783	30 décembre	— 15, 3	— 19, 1
1788	31 décembre	— 17, 8	— 22, 3
1795	25 janvier. .	— 18, 8	— 23, 5
1798	26 décembre	— 14, 1	— 17, 6
1820	11 janvier. .	— 11, 4	— 14, 3
1823	14 janvier. .	— 11, 7	— 14, 5

Tableau des plus hautes températures de l'air, observées en divers climats.

Noms des lieux.	Maximum de chaleur.	Noms des observateurs.
Equateur.	+ 38, 4	Humboldt.
Surinam.	32, 3	
Oasis de Mourzouk . .	54,	Ritchie et Lyon.
Pondichéry.	44, 7	Le Gentil.
Madras.	40, 0	Roxburg.
Beit-el-Fakih.	38, 1	Nieburg.
Martinique.	35, 0	Chauvalon.
Manille.	43, 7	Le Gentil.
Antougil (Madagascar).	45, 0	Id.
Guadeloupe.	38, 4	Le Gaux.
Vera-Cruz.	35, 6	Orta.
Ile de France. . . .	32, 6	Cossigny.
Philae (Egypte). . . .	43, 1	Coutelle.
Le Caire.	40, 2	Id.
Bassora.	45, 3	Beauchamp.
Paramatta (Nouv.-Holl.)	41, 1	Génér. Brisbane.
Cap de Bonne-Espérance.	43, 7	La Caille.
Vienne (Autriche). . .	35, 9	Broquin.
Strasbourg.	35, 9	Herrenschneider.

NOMS DES LIEUX.	Maximum de chaleur.	Noms des observateurs.
Paris.	+ 38, 4	
Varsovie.	33, 8	Deljue.
Franecker (Hollande). .	34, 0	Van-Swinden.
Copenhague.	33, 7	Bugge.
Nain-Labrador.	27, 8	De La Trobe.
Stockholm.	34, 4	Ronnoss.
Pétersbourg.	30, 6	Euler.
Abo.	34, 2	Lèche.
Islande (Eyafjord). . .	20, 9	Van-Schells.
Hindoën (Norwège). .	25, 0	Schytte.
Ile Melleville. . . .	15, 6	Parry.

Température de l'atmosphère à diverses hauteurs. A mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, on y trouve des températures de plus en plus faibles, et la diminution est tellement remarquable, que dans les pays les plus chauds on rencontre des montagnes dont le sommet reste constamment couvert de neige. Depuis long-temps, ce fait a attiré l'attention des physiciens, et on a fait sur ce sujet de nombreuses expériences dont nous allons indiquer les résultats :

Tableau du décroissement de température observé à diverses hauteurs.

		Température des stations supérieures et inférieures.	Différence des températures des deux stations.	Distance verticale des deux stations.	Hauteur en mètres pour un refroidissement de 1° centigrade.
1	Aérostat de Gay-Lussac.	— 9,5	40,3	6979^{m}	174^{m}
	Paris.	30,8			
2	Chimborazo.	— 1,6	26,9	5879	219
	Mer du sud.	25,3			

		Température des stations supérieures et inférieures	Différence des températures des deux stations.	Distance verticale des deux stations.	Hauteur en mètres pour un refroidissement de 1° centigrade.
3	Mont-Blanc.	— 2,9	31,2	4374m	140
	Genève, à midi. . . .	28,3			
4	Mont-Blanc.	— 1,6	29,2	»	150
	Genève, à 2 heures soir.	27,6			
5	Pic de Ténériffe. . . .	— 8,4	33,3	3729	226
	Orotava (Cordier). . .	24,9			
6	Mont-Blanc.	— 2,9	25,9	3722	144
	Chamouny, à midi. . .	23,0			
7	Id.	— 1,6	26,6	»	140
	Id., à 2 heures soir. .	25,0			
8	Ethna.	+ 4,4	18,7	3237	178
	Catane (Saussure). . .	23,1			
9	Mont-Perdu.	6,9	18,7	3117	167
	Tarbes.	25,6			
10	Col du Géant. . . .	4,5	20,4	3060	150
	Genève.	24,9			
11	Maladette.	3,4	17,4	2904	167
	Tarbes (Cordier). . .	20,8			
12	Pic du midi.	11,6	15,9	2613	164
	Tarbes, 26 juillet 1809. .	27,5			
13	Id	8,6	11,0	»	238
	Id., 15 septembre. . .	19,6			
14	Id.	8,1	14,4	»	181
	Id., 4 septembre 1803.	22,5			
15	Id.	10,4	13,1	»	199
	Id , 12 septembre. . .	23,5			

		Température des stations supérieures et inférieures.	Différence des températures des deux stations.	Distance verticale des deux stations.	Hauteur en mètres pour un refroidissement de 1° centigrade.
16	Pic du midi.	8,1	10,7	»	244
	Tarbes, 23 septembre. .	18,8			
17	Id.	4,0	15,1	»	173
	Id., 27 septembre. . .	19,1			
18	Id.	4,3	10,5	»	249
	Id., 30 septembre. . .	14,8			
19	Col du Géant. . . .	4,5	17,1	2384	139
	Chamouny.	21,6			
20	Mont-Perdu. . . .	6,9	18,1	2152	119
	Barrièges.	25,0			
21	Pic d'Eyré.	11,0	10,3	2147	208
	Tarbes.	21,3			
22	Pic de Montaigu. . .	3,1	11,4	2053	180
	Tarbes.	14,5			
23	Pic du Midi.	16,4	10,3	1655	161
	Barrièges, 30 août 1805.	26,7			
24	Id.	8,0	13,9	»	119
	Id., 15 septembre. . .	21,9			
25	Id.	8,2	13,1	»	127
	Id., 15 août 1809. . .	21,3			
26	Id.	6,0	12,5	»	132
	Id., 23 septembre. . .	18,5			
27	Id.	2,5	13,4	»	123
	Id., 19 octobre. . . .	15,9			
28	Id.	7,0	10,8	»	153
	Id., 11 septembre 1810.	17,8			

		Température des stations supérieures et inférieures	Différence des températures des deux stations.	Distance verticale des deux stations.	Hauteur en mètres pour un refroidissement de 1° centigrade.
29	Pic du midi.	5,8	13,1	»	126
	Barrièges, 22 septembre.	18,9			
30	Id.	5,2	13,2	»	125
	Id., 28 septembre. . .	18,4			
31	Puy-de-Dôme.	14,4	6,9	1066	154
	Clermont, 25 juin 1806.	21,3			
32	Id.	10,8	7,0	»	152
	Id. 11 octobre 1807, midi	17,8			
33	Id.	11,7	6,9	»	154
	Id., 1 heure, soir. . .	18,6			
34	Id.	15,2	9,6	»	111
	Id., 29 juin 1808. . .	24,8			
35	Id.	23,4	9,5	»	112
	Id., 7 août.	32,9			
36	Bédat de Bagnères. . .	8,0	2,9	561	193
	Tarbes.	10,9			
37	Pont du Bergue. . . .	— 2,9	3,2	492	154
	Clermont.	0,3			
38	La Barraque.	+21,8	1,8	380	211
	Clermont.	23,6			

La première colonne contient l'indication des stations : dans chaque expérience, la plus élevée est indiquée d'abord.

La cinquième colonne fait voir que la diminution de température n'est pas également rapide dans tous les pays. Les nombres qui s'y trouvent ont été calculés, en supposant que

dans un même pays l'élévation est proportionnelle à la diminution de température ; ce qui n'est pas tout-à-fait exact, ainsi que le prouvent de nombreuses expériences faites par M. de Humboldt, en Amérique, dans les Andes de Quito et les Cordilières du Mexique, pour déterminer les températures moyennes à diverses hauteurs :

Hauteur.	Température moyenne.	Différences.
0	27, 5	
1000 mètr.	21, 8	5, 7
2000	18, 4	3, 4
3000	14, 3	4, 1
4000	7	7, 3
5000	1, 5	5, 5

Limites des neiges perpétuelles. La conservation des glaces sur les hautes montagnes est due à ce qu'il y règne presque toute l'année une température assez basse ; il n'est pas nécessaire toutefois que la température reste toujours au-dessous de 0° : le refroidissement pendant la nuit et les pertes de chaleur dues à la liquéfaction (*voyez* page 38) d'une partie de ces eaux congelées, suffisent pour empêcher jusqu'à l'hiver une fusion totale ; on conçoit aussi que la température moyenne de l'air peut ne pas être la même dans tous les pays à la plus petite hauteur à laquelle les neiges peuvent exister pendant l'été : ceci est une conséquence de ce que dans deux lieux, où la température moyenne de l'année est la même, la moyenne des mois les plus chauds peut être très-différente (*voyez* page 330). Ces faits résultent des observations consignées dans le tableau suivant :

LATITUDE et NOMS des observateurs	Noms des lieux.	Hauteur de la limite des neiges au-dessus de l'océan.	Température moyenne.
0 à 10° M. de Humboldt.	Rucupichincha Huaupichincha Antisana Corazon Cotapaxi Chimborazo	4795 mètr.	1,5
14 à 19° M. Pentland.	Cordilière orient. du Haut-Pérou.	5200	
	Cordilière occid. du Haut-Pérou.	5130	
19 à 20° M. de Humboldt.	Orizaba Popocatepetl Femmeblanche Nevado de toluca	4580	
27 à 36° M. Webb.	Hymalaya (pente méridionale)	3850	
	Hymalaya (pente septentrionale)	5000	
43 à 42° Engelhardt. Parrot.	Caucase	3216	3,5
Ramond.	Pyrénées	2729	
45 à 46° M. Wahlenberg.	Alpes	2670	4
49°	Carpathes	2592	
61° M. Léop. de Buch.	Pic de Saletind	1690	6
70° M. Léop. de Buch.	Le Storvans-Field	1060	6

Températures à diverses profondeurs au-dessous de la surface de la terre. On n'a encore fait que dans un très-petit nombre de pays des observations suivies sur les températures au-dessous de la surface de la terre à diverses profondeurs. A Paris, des savans distingués ont constaté que

pendant les cinquante années qui viennent de s'écouler, la température n'avait pas varié dans les caves de l'observatoire à une profondeur de 85 pieds ; d'autres expériences ont démontré que la température est encore constante dans chaque lieu à toutes les profondeurs plus grandes ; mais qu'en remontant on finit par trouver dans chaque pays un point au-dessus duquel la température change avec les saisons : l'ensemble de ces points où la température cesse de varier forme autour de la terre une couche à laquelle on donne le nom de *couche invariable ;* la profondeur à laquelle elle se trouve au-dessous du sol n'est pas la même dans les diverses parties de la terre.

Au-dessus de la couche invariable, la température change avec la profondeur ; les résultats que renferment les tableaux suivans font voir comment ces variations ont lieu jusqu'à une profondeur de 15 pieds :

Résultats moyens des observations faites à Zurich par Ott, *et continuées pendant quatre ans et demi, à partir de* 1762.

Température moyenne de Zurich. 8,8
Température du mois le plus chaud. 18,7 } Différence 21° 6
Id. le plus froid. 2,9 }

MOIS.	DIVERSES PROFONDEURS auxquelles les thermomètres étaient établis.						
	1/4 pi.	1/2 pi.	1 pied.	2 pieds	3 pieds	4 pieds	6 pieds
Janvier.	0°3	0°5	1°6	2°5	3°0	4°8	7°0
Février.	—0, 6	0, 2	1, 5	2, 3	2, 8	4, 4	5, 5
Mars.	7, 7	4, 5	5, 0	4, 5	4, 5	5, 0	5, 5
Avril.	11, 7	8, 8	8, 8	8, 1	8, 1	7, 2	7, 2
Mai.	14, 8	13, 2	13, 2	11, 7	11, 6	11, 4	10,
Juin.	19, 4	16, 1	16, 1	15, 0	13, 8	13, 2	11, 7
Juillet.	19, 5	17, 7	17, 6	16, 1	16, 1	15, 1	13, 8
Août.	17, 8	17, 2	16, 6	16, 1	16, 3	16, 1	15, 2
Septembre. . .	15, 0	14, 4	15, 0	15, 1	15, 3	15, 2	15, 2
Octobre. . . .	10, 6	10, 4	10, 6	10, 5	11, 7	12, 0	13, 4
Novembre. . .	5, 0	5, 6	6, 1	8, 0	8, 8	9, 4	11, 6
Décembre. . .	2, 2	2, 0	2, 7	4, 0	5, 0	7, 2	9, 4
Moyenne. . . .	10, 4	9, 3	9, 4	9, 4	9, 7	10, 1	10, 5

Maximums et minimums moyens.

Profondeur	Maximum.		Minimum.		Différence ou variation moyenne.
1/4 de pied.	19,5	Juillet.	—0,6	Février.	20,0
1/2	17,7	id.	0,2	id.	17,5
1	16,6	Août.	1,5	id.	15,1
2	16,1	id.	2,3	id.	13,8
3	16,3	id.	2,8	id.	13,5
4	16,1	id.	4,4	id.	11,7
6	15,2	Septembr.	5,5	id.	9,7

Résultat moyen des observations faites à Edimbourg par M. Fergusson, *pendant les années* 1816 *et* 1817.

Température moyenne d'Edimbourg. 8, 8
Température du mois le plus chaud. 15, 2 } Différence 11, -
Id. le plus froid. 3, 5 }

MOIS.	1816.				1817.			
	1 pied.	2 pieds.	4 pieds.	8 pieds.	1 pied.	2 pieds.	4 pieds.	8 pieds.
Janvier.	0°6	2°2	4°8	6°1	2°	3°7	4°7	7°3
Février.	0, 9	2, 2	3, 9	5, 6	2, 8	4, 4	5, 3	5, 9
Mars.	1, 7	2, 6	4, 2	5, 7	4, 1	4, 6	5, 4	5, 8
Avril.	4, 3	3, 6	5, 2	6, 6	7, 2	5, 8	5, 9	5, 8
Mai.	6, 7	6, 3	6, 3	6, 7	8, 2	7, 0	7, 0	6, 8
Juin.	10, 9	10, 0	8, 1	7, 7	10, 6	9, 7	8, 7	8, 8
Juillet.	12, 2	11, 4	10, 2	8, 7	12, 9	12, 8	10, 8	9, 8
Août.	10, 0	11, 4	10, 3	9, 7	11, 9	12, 2	11, 1	10,
Septembre.	10, 9	10, 7	11, 0	10, 0	11, 7	11, 5	11, 1	10, 4
Octobre.	8, 3	9, 6	9, 8	9, 8	7, 6	9, 7	9, 7	9, 9
Novembre.	4, 9	6, 6	7, 9	7, 6	5, 0	7, 0	7, 3	8, 7
Décembre.	2, 1	4, 4	6, 1	7, 8	3, 3	4, 9	8, 1	3,
Moyenne.	6, 1	6, 8	7, 8	7, 7	7, 3	7, 8	7, 9	8, 1

Maximums et minimums absolus.

Profondeurs.	Maximum.		Minimum.		Différence ou variation absolue.
		1816.			
1	12, 2	21 juillet.	0, 6	février	11, 6
2	11, 7	24 id.	2, 2	4 id.	9, 5
4	11, 1	août.	3, 9	11 id.	7, 2
8	10, 0	14 septemb.	5, 6	16 id.	4, 4
		1817.			
1	13, 3	5 juillet.	1, 1	janvier	12, 2
2	13, 3	10 id.	3, 3	id.	10, 7
4	11, 1	août.	4, 4	3 février	6, 7
8	10, 6	20 septemb.	5, 8	11 février.	4, 8

Résultats moyens des observations faites à Strasbourg par M. Herreinschneider, *pendant les années* 1821, 1822 et 1823, *avec un thermomètre établi à* 15 *pieds de profondeur.*

Température moyenne de Strasbourg. 9,7
Id. du mois le plus chaud. 17,0 } Différence 19
Id. id. le plus froid. — 2,0 }

MOIS.	1821.	1822.	1823.
Janvier.	7, 18	8, 91	6, 56
Février.	5, 62	8, 12	6, 73
Mars.	7, 57	8, 43	7, 35
Avril.	7, 50	9, 00	7, 97
Mai.	7, 96	9, 85	9, 37
Juin.	9, 20	10, 75	10, 93
Juillet.	9, 68	11, 25	10, 62
Août.	10, 77	12, 08	11, 56
Septembre. . . .	11, 25	12, 18	11, 25
Octobre.	11, 09	11, 43	10, 93
Novembre. . . .	10, 47	10, 00	9, 37
Décembre. . . .	9, 83	7, 35	9, 53
Moyennes. . . .	9, 01	9, 94	9, 34

Au-dessous de la couche invariable, la température va croissant avec la profondeur; Gensanne est le premier qui ait constaté ce fait. En 1740, il porta un thermomètre à diverses profondeurs dans les mines de plomb de Giromagny, à trois lieues de Béfort; il y trouva que les températures étaient :

à 101 mètres	12°,5
206	13,1
308	19,0
433	22,7

En 1785, de Saussure fit des expériences analogues dans un puits très-profond creusé dans le canton de Berne, et il observa les températures suivantes :

à 108 mètres	14°,4
183	15,6
220	17,4

D'autres expériences ont encore été faites sur le même sujet; elles sont réunies dans le tableau suivant qui est tiré d'un mémoire sur la température de la terre, publié en 1827 par M. Cordier :

Tableau des températures observées à diverses profondeurs.

LIEUX, AUTEURS ET DATES DES OBSERVATIONS.	Profondeur des stations en mètres	TEMPÉRATURE aux profondeurs indiquées.	TEMPÉRATURE moyenne du pays.	Profondeur correspondant à l'accroissement de 1° de chaleur.
Dans les puisards des mines.				
Cornouailles. — W. Fox. — Publiées en 1822.				
Mines de cuivre de South-Huel-Towan.	82,3.	15,6	10	14,7
M. de cuivre et étain de Huel-Unity-Wood. . : . . .	157,4	17,8	10	20,2
Id. de Poldice.	263,5	25,6 26,7	10 10	16,9 15,8
M. de cuivre de Gwennap .	274,5	24,4 26,7	10 10	19, 16,4

LIEUX, AUTEURS ET DATES DES OBSERVATIONS.	Profondeur des stations en mètres.	TEMPÉRATURE aux profondeurs indiquées.	TEMPÉRATURE moyenne du pays.	Profondeur correspondant à l'accroissement de 1° de chaleur.
Devonshire. — W. Fox. — Publiées en 1822.				
Id. de East-Liscomb . . .	150	17,8	10	19,2
M. de plomb de Beeralston.	219,6	19,2	10	23,9
M. de Huel-Friendship. .	311,1	18	10	38,9
Suisse. — De Saussure. — Au printemps de 1785.				
M. de sel de Bex.	220	17,4	9	26,2
Bretagne. — Daubuisson. — 5 septembre 1806.				
M. de plomb et d'argent de	142	14,2	11,5	52,6
Poullaouen.	150	13,5	11,5	75
Dans les sources des mines.				
Saxe. — Daubuisson. — Fin de l'hiver en 1802.				
M. de plomb et d'argent de Junghohe-Birke.	78	9,4	8	55,7
M. de plomb et argent. . .	217	12,5	8	48,2
Id. de Beschertglück. . . .	256	13,8	8	44,2
Id. de Himmelfahrt. . . .	224	14,4	8	35
Bretagne. — Daubuisson. — 5 septembre 1806.				
Id. de Poullaouen. . . .	39	11,9	11,5	97,5
	75	11,9	11,5	187,5
	140	14,6	11,5	45,2
Id. de Huelgoet.	60	12,2	11	50
	80	15	11	20
	120	15	11	24
	230	19,7	11	26,4
Cornouailles. — W. Fox. — Publiée en 1821.				
M. de cuivre de Dolcoath. .	439	27,8	10	24,6

LIEUX, AUTEURS ET DATES DES OBSERVATIONS.	Profondeur des stations en mètres.	TEMPÉRATURE aux profondeurs indiquées.	TEMPÉRATURE moyenne du pays.	Profondeur correspondant à l'accroissement de 1° de chaleur.
Mexique. — De Humboldt.				
M. d'argent de Guanaxuato.	522	36,8	16	25,1
Dans l'eau des grandes inondations.				
Cornouailles. — w. Fox. — Observations publiées en 1822.				
M. de cuivre de North-Huel-Virgin (inondat. très-prof.)	71,4	15,6	10	12,75
Id. de Nangiles (inondation très-profonde).	161	14,4	10	36,6
Id. de Gwennap (inondation profonde de 128 mètres). .	183	15,6	10	32,7
M. de Tingtang (inondation presque épuisée, n'ayant plus que 18 mètr. de profondeur)	196	17,5	10	26,1
M. de cuivre de Huel-Maid (inondation en épuisement, et n'ayant plus que 55 mètr. de profondeur).	330,6	15,6	10	41,2
M. de cuivre et étain de Tincroft (inondation en épuisement, n'ayant plus que 18 mètres de profondeur). .	230,6	17,2	10	32
M. d'étain d'United-mines (inondat. profonde de 55 m.)	329,4	26,7	10	20
Saxe. — Daubuisson. — Fin de l'hiver de 1802.				
M. de plomb et argent de Jung-hohe-Birke (grande inondat. profonde de 36 mètres). .	318,2	17,2	8	34,24
Bretagne — Daubuisson. — 5 septembre 1806.				
Id. de Huelgoët (inondation profonde de 16 mètres). .	238	18,8	11	43,3

LIEUX, AUTEURS ET DATES DES OBSERVATIONS.	Profondeur des stations en mètres.	TEMPÉRATURE aux profondeurs indiquées.	TEMPÉRATURE moyenne du pays.	Profondeur correspondant à l'accroissement de 1° de chaleur.
Dans le roc des mines.				
Saxe. — De Trébra. — 1805, 1806, 1807.				
M. de plomb et argent de Beschertglück.	180	11,25	8	55,38
	260	15	8	37,1
Saxe. — De Trébra. — 1815.				
Id. de Alte Hoffnung-Gotes.	71,9	8,75	8	95,88
	168,2	12,81	8	35
	268,2	15	8	38,3
	379,54	18,75	8	35,3
Cornouailles. — w. Fox. — Publiées en 1821.				
M. de cuivre dites *united-mines*.	348	30,8	0	16,7
	366	31,1	10	16,6
Cornouailles. — w. Fox. — Publiées en 1822.				
M. de cuivre de Dolcoalh.	421	24,2	10	30

	Profondeur des stations.	Températures observées.	Moyennes du pays.
Dans l'eau et dans le roc de trois houillières, par M. Cordier, en 1827			
CARMAUX.			
Eau du puits Vériac.	6,2	12,9	11
Eau du puits de Bigorre.	11,5	13,15	
Roc au fond de la mine du Ravin.	181,9	17,1	
Roc au fond de la mine de Castillan.	192	19,5	
LITTRY.			
Roc au fond de la mine Saint-Charles.	99	16,135	11
DÉCISE.			
Eau du puits Pélisson.	8,8	11,4	11
Eau du puits des Pavillons.	16,9	11,77	
Roc au fond de la mine Jacobé. — Station supérieure.	107	17,78	
Roc au fond de la mine Jacobé. — Station inférieure.	171	22,1	
Dans un puits foré à la Rochelle. — M. Fleurieau de Bellevue.			
Dans la formation jurassique à peu de distance de la mer.	105	16,25	11,7

Températures des eaux. Lorsqu'une source est peu abondante, sa température dépend de celle des dernières couches de terre qu'elle traverse, et avec lesquelles elle tend à se mettre en équilibre; mais lorsqu'elle est abondante, au contraire, elle donne sa température aux parois des conduits par lesquels elle passe, et n'éprouve presque pas d'influence de leur part : l'eau qu'elle fournit conserve alors un dégré de chaleur constant pendant toute l'année, lorsqu'elle vient d'un lieu situé au-dessous de la couche invariable, et ce dégré de chaleur est déterminé par la profondeur à laquelle la source prend naissance. C'est ce qui arrive, par exemple, pour les eaux des puits artésiens, sur lesquelles M. Arago a fait des observations très-curieuses. D'après cela, on conçoit que non seulement la température des sources peut être différente de celle de l'air, être supérieure ou inférieure suivant les saisons, mais encore qu'elle peut n'être pas la même que la température moyenne de l'air; le tableau suivant contient les principales observations faites à ce sujet :

Tableau comparatif de la température des sources et de la température moyenne de l'air.

Noms des lieux.	Températ. moyenne de l'air à la surface du sol.	Différence.	Noms des observateurs.
	dégr. cent.		
Congo.	22,7	+ 2,9	Smith.
Cumana.	25,9	+ 2,4	Humboldt.
Saint-Yago (Cap-Vert).	24,0	+ 0,5	Hamilton.
Bockford (Jamaïque). .	26,1	+ 0,9	Hunter.
Havane.	23,5	+ 2,1	Ferrer.
Népal.	23,0	+ 1,5	Hamilton.
Ténériffe.	18,0	+ 3,6	De Buch.
Le Caire.	22,5	0,0	Nouet.
Cincinnati.	12,4	0,0	Mansfield.
Philadelphie. . . .	12,7	— 0,3	Warden.
Carmeaux.	13,0	+ 1,4	Cordier.
Genève.	10,4	— 0,8	Wahlenberg.

NOMS DES LIEUX.	Température moyenne de l'air à la surface du sol.	Différence.	Noms des observateurs.
	dégr. cent.		
Zurich.	9,4	— 0,6	Wahlenberg.
Paris.	11,5	— 0,6	Id.
Berlin.	10,2	— 2,2	Erman fils.
Dublin.	9,6	— 0,1	Kirwan.
Kendal.	8,7	— 0,8	Dalton.
Keswick.	9,2	— 0,3	Id.
Kœnisberg.	8,1	— 1,9	Erman.
Edimbourg.	8,7	0,0	Playfair.
Carlscrone.	8,5	— 0,7	Wahlenberg.
Upsola.	6,5	— 1,0	Id.
Uméo.	2,9	— 2,1	Id.
Enontekies.	1,2	— 4,9	Id.
Vadsoc.	2,2	— 3,5	Id.

On y voit que, dans la zône torride, la température moyenne de l'air surpasse en général celle des sources, et que le contraire a lieu dans la zône tempérée.

Les fontaines thermales qui fournissent des eaux dont la température approche dans certains pays de celle de l'ébullition, sont regardées par quelques physiciens comme passant à de grandes profondeurs en des lieux où la température est très-élevée; d'autres pensent que le dégré de chaleur auquel on les observe leur est communiqué par des matières qui se combinent chimiquement.

Les eaux des lacs présentent à la surface des températures diverses dans différens pays et à différentes époques de l'année; mais au fond la température est à peu près la même; c'est ce qui résulte des expériences suivantes :

Noms des lacs.	Température à la surface.	Température au fond.	Profondeur en pieds.
Lac de Genève.	5,0	5,4	950
Id.	21,2	6,1	150
— de Thun.	19,0	5,0	350
— de Brientz.	19,4	4,8	500
— de Lucerne . . .	20,3	4,9	600
— de Constance. . . .	18,1	4,3	370
— Majeur.	25,0	6,7	335
— de Neuchâtel. . . .	23,1	5,0	325
— de Bienne.	20,7	6,9	217
— d'Annecy.	14,4	5,6	163
— du Bourget. . . .	17,9	5,6	240

On voit, en examinant la troisième colonne, que la température au fond est toujours très-voisine de celle à laquelle la densité est *maximum* (*voyez* page 102); ce fait s'explique facilement. Lorsque les eaux à la surface atteignent le *maximum* de densité, elles se précipitent au fond; et quand ensuite, par diverses causes, les eaux qui les ont remplacées se refroidissent ou s'échauffent de plus en plus, leur densité diminue : elles restent à la surface, et mettent les premières à l'abri des influences extérieures.

La température des eaux de la mer a été aussi l'objet d'un assez grand nombre d'expériences : une partie des résultats qui ont été obtenus est renfermée dans les deux tableaux suivans qui sont extraits d'une notice de M. Arago. (Annuaire du bureau des longitudes, année 1825).

Maxima de température de l'atmosphère, observés en pleine mer, loin des continens.

	Dates.	Latitude.	Température.	Noms des observateurs.
Océan Atlantique.	1772 14 août.	14° 54′ N.	+27°5	Bayley.
Mer du Sud.	1773 16 août.	17, 46 S.	+28,9	Id.
Océan Atlantique.	1774 23 mai.	4, 5 N.	+28,3	Id.
Id.	1772 13 août.	14, 50 N.	+28,6	Wales.
Id.	1775 22 juin.	11, 12 N.	+29,2	Id.
Id.	1785 29 sept.	0, 0	+26,3	Lamanon.
Id.	1788 novembre.	0, 58 S.	+27,2	Churruca.
Id.	1791 6 novemb.	9, 16 N.	+28,4	Dentrecast.
Mer des Moluques.	1792 27 octobre.	10, 42 S.	+30,6	Id.
Id.	1793 2 août.	0, 3 S.	+29,7	Dentrecast.
Océan Atlantique.	1800 mars.	0, 33 S.	+27,7	Perrins.
Mer du Sud.	1803 février.	0, 11 N.	+28,0	Humboldt.
Océan Atlantique.	1816 16 mars.	4, 21 N.	+27,8	John Davy.
Id.	1816 11 mai.	4, 43 N.	+27,5	Lamarche.
Mer de la Sonde.	1816 20 juin.	5, 38 N.	+29,4	Basil Hall.
Mer de la Chine.	1816 3 juillet.	13, 29 N.	+29,1	Id.
Grand-Océan.	1816 7 août.	2, 10 N.	+28,1	John Davy.
Océan Atlantique.	1816 13 octob.	5, 38 S.	+29,1	Lamarche.
Méditerranée.	1818 3 août.	39, 12 N.	+29,2	Gautier.
Id.	1819 24 juin.	38, 46 N.	+29,0	Id.
Mer Noire.	1820 23 juin.	44, 42 N.	+29,4	Id.

Maxima de température de la mer à sa surface.

	Latitud.	Longitude de Paris.	Température.	Dates.	Noms des observateurs.
Océan Atlant.	7° N.	20° $\frac{3}{4}$ O.	+26°9	1772 23 août.	W. Bayley.
Mer du Sud.	17 $\frac{3}{4}$ S.	208 E.	+28,9	1773 18 août.	Id.
Océan Atlant.	4 N.	24 E.	+28,3	1774 23 mai.	Id.
Id.	6 $\frac{2}{4}$ N.	22 $\frac{1}{5}$ O.	+28,7	1788 octobre.	Churruca.
Id.	2 S.	29 $\frac{1}{4}$ O.	+28,6	1803 avril.	Quevedo.
Id.	7 N.	25 $\frac{1}{2}$ O.	+28,8	1803 novembre.	Rodman.
Id.	0 $\frac{2}{3}$ O.	22 $\frac{1}{3}$ O.	+28,2	1804 mars.	Perrins.
Id.	4 N.	21 O.	+28,6	1816 16 mars.	John Davy.
Id.	5 N.	26 O.	+27,5	1816 10 mai.	Lamarche.
Mer de Chine.	13 $\frac{1}{2}$ N.	110 $\frac{1}{2}$ E.	+29,1	1816 3 juillet.	Basil Hall.
Océan Atlant.	7 $\frac{1}{3}$ N.	24 $\frac{1}{2}$ O.	+27,3	1816 14 juillet	Ch. Baudin.
Mer de Ceylan.	2 $\frac{1}{2}$ N.	75 $\frac{1}{2}$ E.	+28,9	1816 9 août.	John Davy.
Océan Atlant.	10 N.	20 $\frac{1}{2}$ O.	+29,1	1816 18 octobre.	Lamarche.
Mer des Indes.	1 N.	91 E.	+29,6	1816 25 novemb.	Ch. Baudin.
Au nord de Sumatra.	5 $\frac{1}{2}$ N.	98 E.	+28,9	1817 8 mars.	Basil Hall.

Volcans. Les environs des volcans et les lieux qu'ils occupent sont à des températures qui ne peuvent pas être comparées avec celles qu'on observe dans d'autres endroits aux mêmes profondeurs ; la chaleur qui y règne est supérieure à celle que nous pouvons produire dans les meilleurs fourneaux. L'explication des causes qui élèvent tellement la

température est du domaine de la chimie (1); nous rapporterons seulement ici, pour donner une idée des effets qui peuvent en résulter, quelques passages de l'histoire du Vésuve, par le P. Della Torre, et la description de la formation d'une montagne due à l'éruption d'un volcan, par *Pietro Giacomo di Toledo :*

« Le premier juillet 1752, on voyait, sous le plan intérieur du cratère du Vésuve, en six ou sept endroits assez éloignés de l'abîme, un feu sensible par différentes ouvertures, et dans quelques-uns de ces endroits, la croûte sur laquelle on marchait n'était pas épaisse de plus de dix pouces. On voyait aussi dans un endroit un peu élevé un feu très-vif, mais sans fumée, qui ressemblait à une fournaise; il y avait dans le cratère deux cavités placées l'une près de l'autre; vers l'heure de midi, les rayons du soleil qui entraient dans l'une de ces cavités, étaient réfléchis par le fond et sortaient par l'autre cavité : « Je trouvai, dit le P. Della Torre, un trou qui allait presque perpendiculairement jusqu'au fond du volcan; j'y laissai tomber quelques pierres assez pesantes, mais il ne me fut pas possible de les faire descendre droit, parce qu'elles rencontraient continuellement des obstacles; elles employaient ainsi 12 secondes pour aller jusqu'au fond. Je jugeai par les différentes expériences que je fis alors, que, si elles n'avaient rencontré aucun obstacle, elles n'auraient été que 8 secondes à descendre; auquel cas, par les lois de l'accélération des corps graves qui parcourent dans la première seconde 15 pieds 1 pouce 2 lignes et $\frac{1}{18}$, la profondeur du trou aurait été de 967 pieds.

» Dans un autre voyage que je fis sur le Vésuve, le 16 octobre de la même année 1752, j'eus le champ libre, dit le P. Della Torre, pour m'approcher commodément de l'abîme. Il se rétrécissait à mesure qu'il était plus profond, en sorte

(1) On peut consulter sur ce sujet un excellent mémoire de M. Gay-Lussac, inséré dans les annales de phys. et de chim., t. 22, pag. 415.

qu'étant convergent, on ne pouvait pas laisser tomber perpendiculairement des pierres jusqu'au fond. Mais étant monté sur un rocher qui s'avançait sur ce gouffre d'environ douze pieds, je me trouvai alors élevé à plomb sur le fond. J'y vis distinctement un grand feu qui ressemblait beaucoup à une chaudière remplie de crystal fondu. Il en sortait une fumée épaisse, et j'entendais un bruit sourd, mais assez considérable. Comme cette fumée se dirigeait du côté de l'abîme opposé à celui où j'étais, j'eus la commodité de laisser tomber une pierre, pour voir combien elle serait de temps à arriver au feu; mais je ne pus observer la chute de la pierre que jusqu'aux deux tiers de la hauteur, parce que le vent me porta tout à coup un tourbillon de fumée si épaisse, qu'elle m'ôta la respiration, et que je n'eus que le temps de me jeter du rocher sur le plan du cratère, pour trouver un air frais. Ainsi, il ne me fut pas possible de compléter l'expérience. Cependant j'observai que la pierre avait employé cinq secondes pour parcourir les deux tiers de la hauteur, ce qui faisait 377 pieds 5 pouces; d'où je conclus que la pierre aurait été un peu plus de six secondes à parcourir l'espace, et que, par conséquent, la profondeur totale devait être d'environ 543 pieds ».

Il y a en Italie une montagne qui a été formée dans une plaine en deux fois vingt-quatre heures, par l'éruption d'un volcan. Voici la relation que *Pietro Giacomo di Toledo* a faite de cet événement extraordinaire :

« Les 27 et 28 septembre 1738, des tremblemens de terre se firent sentir nuit et jour continuellement dans la ville de Puzzole. La plaine qui se trouve entre le lac d'Averne, *Monte barbaro* et la mer, s'éleva un peu, et plusieurs crevasses s'y formèrent, au travers desquelles l'eau trouva un passage. En même temps la mer, qui était très-voisine de la plaine, fut desséchée l'espace d'environ 200 pas, tellement que les poissons restèrent sur le sable, en proie aux habitans de Puzzole. Enfin, le 29 du même mois, vers deux heures de nuit, ou environ, la terre s'ouvrit près le lac, et pré-

senta une bouche épouvantable, qui vomit avec furie de la fumée, du feu, des pierres, et une espèce de limon formé de cendres, en faisant, dans le temps même de l'explosion, un bruit semblable à celui d'un tonnerre violent. Le feu qui sortait de cette bouche dirigea sa marche vers les murs de cette ville infortunée; la fumée était en partie noire et en partie blanche : la première était plus obscure que les ténèbres même, et la seconde était aussi blanche que le plus beau coton. La fumée qui s'élevait en l'air semblait vouloir atteindre jusqu'à la voûte céleste; les pierres qui la suivaient étaient converties en ponces par les flammes dévorantes, et la grandeur de quelques-unes surpassait celle d'un bœuf. Ces pierres, après s'être élevées à peu près jusqu'à la portée d'une albalète, retombaient ensuite quelquefois sur le bord, et quelquefois dans la bouche même du volcan. Il est vrai que la plupart ne pouvaient être aperçues dans leur élévation, tant la fumée était épaisse; mais lorsqu'en retombant elles sortaient du sein de la fumée brûlante, elles témoignaient assez le lieu de leur séjour par une odeur de soufre aussi forte que fétide, précisément comme ces pierres qui ont été lancées par une pièce d'artillerie, et qui ont passé au travers d'une fumée de poudre à canon enflammée. Le limon était d'une couleur cendrée; sa liquidité, d'abord très-grande, diminua successivement : sa quantité fut telle qu'en moins de douze heures, avec le secours des pierres dont j'ai parlé, on vit s'élever une montagne de mille pas de hauteur : la circonférence de la base était de trois mille. Non seulement Puzzole et le pays voisin furent remplis de ce limon, mais encore la ville de Naples, qui vit dégrader en grande partie, par ce fléau, la beauté de ses palais. Les cendres furent portées jusqu'en Calabre par la force des vents, brûlant dans leur passage les plantes et les plus grands arbres, et en renversant une grande partie par leur poids. Un nombre infini d'oiseaux et d'animaux de diverses espèces, couverts de cette cendre sulfureuse, se livrèrent eux-mêmes entre les mains des hommes. Cette éruption

dura deux jours et deux nuits sans intervalle, à la vérité avec une violence tantôt plus grande et tantôt moindre. Lorsqu'elle était dans la plus grande force, on entendait même à Naples, un bruit ou plutôt un tonnerre semblable à celui d'une vigoureuse artillerie, dans le moment où un combat commence entre deux armées. Le troisième jour l'éruption cessa, de sorte que la montagne parut alors parfaitement découverte, au grand étonnement de tous les spectateurs.

» La bouche du volcan était circulaire, et avait environ un quart de mille de circonférence; les pierres qui étaient retombées dans cette bouche, y bouillonnaient comme fait l'eau dans un grand chaudron sur le feu.

» Le quatrième jour l'éruption recommença, et le septième plus vivement encore, mais toujours avec moins de violence que la première nuit. Ce fut alors que plusieurs personnes, qui se trouvèrent malheureusement sur la montagne, furent subitement couvertes de cendres, ou étouffées par la fumée, ou assommées par les pierres, ou brûlées par les flammes, et moururent sur le lieu même. La fumée continue encore aujourd'hui, et vous voyez souvent, pendant la nuit, du feu au milieu de ses tourbillons ».

Le cratère de *Monte Nuovo* est maintenant couvert d'arbrisseaux : « Mais en l'année 1770, je découvris au fond, dit Hamilton, un petit trou parmi les buissons, d'où il sortait continuellement une vapeur chaude et humide, précisément semblable à celle de l'eau bouillante et avec aussi peu d'odeur, et les gouttes de cette vapeur pendaient à tous les buissons qui l'environnaient ».

Le P. Della Torre a rapporté dans son histoire du Vésuve, des observations suivies sur l'éruption de ce volcan, qui se fit le 25 octobre 1751 :

« Vers les quatre heures de la nuit, la montagne s'ouvrit avec un grand bruit, un peu au-dessus de l'*Atrio*, le feu ayant fendu en gros quartiers et renversé une ancienne lave couverte de sable qui lui faisait obstacle ; de cette ouverture

sortit la matière de la lave semblable à du crystal fondu assez épais : elle descendit sur le plan de l'*Atrio del Cavallo*, occupant un large espace; son cours fut si rapide que le premier jour elle fit en huit heures quatre milles de chemin, jusqu'au vallon de Fluscio, qui n'était pas fort large, mais profond. La lave y était resserrée, et coulait comme un torrent de matière fluide d'une certaine consistance. Le ciel était fort serein, mais l'air bien froid; cependant la matière était visiblement en feu, et paraissait comme un mur de crystal fondu qui s'avançait tout d'une pièce, et brûlait tous les arbres et les buissons qu'il rencontrait dans les côtés du vallon. Je me tenais, dit le P. Della Torre, à treize ou quatorze pieds de la lave, dans le plan où il y avait encore des arbres et des vignes; à cette distance je sentais une chaleur considérable, mais qui, loin de m'incommoder, me donnait au contraire des forces et de la vigueur : il fallait me garder surtout des pierres qui roulaient continuellement de la surface en bas. La lave était toute couverte de pierres de différentes grandeurs.

» Le feu n'était pas visible sur la surface supérieure de la lave. Si cette matière rencontre en son chemin quelque obstacle, comme un gros caillou, elle s'arrête devant pendant un peu de temps, coulant toujours par les côtés, et passe ensuite par dessus, quand elle est parvenue à sa hauteur. Si elle rencontre un arbre, elle l'entoure en continuant son chemin : s'il est sec, un moment après les feuilles s'enflamment tout à coup, le tronc se rompt, et il est emporté par la lave; s'il est verd, les feuilles jaunissent d'abord, l'arbre se plie et se rompt pour l'ordinaire, mais il ne prend feu qu'après avoir été entraîné fort loin par la lave. Les plus gros arbres ne se rompaient ni ne se séparaient du tronc, mais les feuilles se brûlaient peu à peu, et les branches, avec une grande partie du tronc, étaient converties en charbon. Il restait encore, après que la lave se fut refroidie, plusieurs de ces arbres sur pied, qui étaient presqu'entièrement réduits en charbon. Quelques habitans

coupaient les arbres avant que le torrent y fût arrivé : dès que ce qui restait du tronc était couvert de quelques pieds de matière, on voyait à cet endroit sortir d'entre les pierres, qui étaient sur la surface de la lave, une flamme vive et siflante qui durait un peu de temps. Ce torrent de matière s'adaptait toujours à la capacité du lieu où il descendait, se rétrécissant et se haussant là où le vallon était étroit, et s'élargissant et s'abaissant là où le vallon était spacieux.

» Le 27 octobre, la lave ne trouva plus de pente sensible, son cours se rallentit; ainsi son mouvement progressif ayant diminué, et la surface extérieure s'étant refroidie considérablement, la lave commença à s'enfler, et à former des couches de différentes largeur et hauteur, et de différentes qualités de matières. Il y en avait de plates, longues et larges de 5, de 6, de 10 et même de 12 palmes, et épaisses d'un, de 2 ou de 3 pouces; d'autres étaient convexes; d'autres avaient la figure des ondes de la mer; d'autres ressemblaient à des câbles de navire; d'autres enfin à des boules un peu applaties. La matière en était noire et légère comme le mâchefer; il y en avait de plus pesantes et de plus compactes; quelques-unes étaient comme une brique brûlée : il se trouvait assez souvent sous ces couches, quand elles étaient hautes de 6 ou 7 palmes, une matière moins poreuse et plus solide, épaisse d'une ou deux palmes, qui est celle dont on se sert pour paver les rues de Naples, et qu'on nomme plus particulièrement lave. Je crois, dit Della Torre, qu'elle n'est pas différente de celle de dessus, mais le poids qu'elle porte la rend plus compacte et l'empêche de se gonfler; car j'ai éprouvé plusieurs fois qu'en en prenant avec un bâton pendant qu'elle est encore liquide, et qu'elle coule sous les couches dont je viens de parler, et qu'en la délivrant ainsi du poids de la matière supérieure, elle devenait incontinent légère et spongieuse; en un mot, qu'elle ne différait en rien de l'autre qui la couvre. La lave se serait bientôt arrêtée et refroidie entièrement, s'il n'était sorti continuellement du flanc de la montagne qui s'était ouverte.

une nouvelle matière qui, coulant sous celle qui était sortie la première, et qui s'était refroidie à l'extérieur, la soulevait et la faisait avancer, non avec la vîtesse et l'uniformité qu'elle avait dans le vallon, mais d'un mouvement lent, et comme des ondes fluides d'une certaine consistance. Le torrent paraissait dans certains momens sans mouvement et sans aucun signe extérieur de feu, tout irrégulier, haut dans des endroits et bas dans d'autres; mais un peu après on voyait tomber des amas d'écume et de pierres les unes sur les autres, qui faisaient le même bruit que ferait un sac rempli de verre rompu que l'on renverserait par terre, et du milieu desquels on voyait sortir comme des langues de matière liquéfiée et enflammée. La lave continuait ainsi son chemin, mais d'un mouvement fort inégal.

» Dans les montagnes spacieuses, elle marche de manière qu'elle se forme à elle-même un lit, dont les bords sont élevés et solides, dans lequel elle coule dans toute la longueur du torrent, et où elle s'entretient liquide et toute en feu pendant beaucoup de temps. Quand cette matière enflammée arrive au front du torrent, et qu'elle y trouve une digue qu'il s'est formée à lui-même en se dilatant et en se refroidissant, elle la brise ou la fond en partie, jusqu'à ce qu'elle passe par dessus, et elle poursuit ainsi son cours. Ce torrent de matière liquide, semblable à du crystal fondu, qui coulait au milieu de la lave, était tout en feu sur la superficie, quoique l'air froid y eût fait extérieurement une croûte très-mince et moins enflammée, à travers laquelle on voyait le feu vif qui coulait dessous. On sentait, en se tenant sur les bords de ce lit que la lave s'était fait naturellement, une chaleur si considérable, qu'on ne pouvait pas rester long-temps dans la même place. Si l'on regardait pendant la nuit la surface de la lave, même quelques jours après qu'elle s'était refroidie, on en voyait sortir quelques flammes de soufre qui s'éteignaient aussitôt. Ce qu'il y avait de plus remarquable dans ce torrent, c'est ce qui arrivait non seulement lorsqu'il rencontrait des pierres ou des arbres, comme

nous l'avons dit ci-dessus, mais encore lorsqu'il se trouvait des maisons sur son chemin ; il s'arrêtait lorsqu'il n'était plus qu'à une palme des murs, et il se gonflait sensiblement ; ensuite il coulait par les côtés, en poursuivant son cours, et entourait la maison, mais sans y toucher : s'il rencontrait quelque porte fermée, alors le bois, fortement échauffé par la chaleur de la matière, se noircissait, se convertissait en charbon et se consumait enfin. Ensuite on voyait entrer dans la chambre une pointe de lave qui s'avançait de quelques palmes, en touchant les jambages de la porte, et n'allait pas plus loin. Il est vrai qu'il tomba une maison peu de temps après que la lave y fut arrivée ; mais ce ne fut que parce qu'il tomba de dessus la surface de la lave une pierre énorme de matière qui enfonça la voûte et fit écrouler la maison. Quoique le torrent dont j'ai parlé jusqu'à présent se fût arrêté le 9 novembre 1751, il conserva néanmoins pendant long-temps une grande chaleur ».

Action du soleil sur la terre. Les variations de température qu'on observe à la surface de la terre pendant différentes saisons et dans divers pays, dépendent principalement de l'action du soleil. Cet astre a une *chaleur propre* beaucoup plus grande que celle de la terre, c'est-à-dire que la forme et l'arrangement de ses atomes sont tels que leurs attractions mutuelles tendent à produire un mouvement d'oscillation plus rapide (*voyez* p. 33). Il agit donc sur notre globe, comme tout corps chaud sur un corps qui l'est moins, de manière à en élever la température ; mais son action n'est pas la même dans tous les pays ; elle dépend de l'obliquité plus ou moins grande de la direction dans laquelle il se trouve par rapport aux diverses parties de la surface terrestre (*voyez* p. 49), de la longueur des jours, et de causes locales. Pendant l'hiver, la direction du soleil est plus oblique, par rapport au pays que nous habitons, et c'est surtout pour cela qu'il fait alors moins chaud ; ce n'est pas, comme plusieurs personnes le pensent, parce que le soleil est plus éloigné, il est au contraire plus rapproché de nous pendant cette saison.

L'action du soleil sur la terre et les autres planètes, ou plutôt les actions mutuelles de tous les astres peuvent donner lieu à d'importantes questions qu'il est difficile de résoudre : on peut se demander, par exemple, si le soleil et en général les astres lumineux conserveront toujours leurs températures sans pouvoir être refroidis par les astres opaques ; et, dans ce cas, pourquoi ces corps répandus dans l'espace ne se mettent pas en équilibre de température, comme cela arrive autour de nous pour tous les corps qui, étant d'abord plus chauds les uns que les autres, exercent les uns sur les autres, pendant un certain temps, une influence réciproque ? Sans nous arrêter à discuter ces sujets et d'autres analogues, nous ferons seulement remarquer qu'il ne faut pas oublier, quand on s'en occupe, que la chaleur peut augmenter ou diminuer de deux manières, soit par une augmentation ou une diminution dans l'amplitude des oscillations, soit par une augmentation ou une diminution dans le nombre des oscillations pendant un temps déterminé. On doit donc distinguer deux espèces de chaleur qui peuvent toutefois se présenter simultanément : la première, une fois produite dans un corps, ne s'éteint pas d'elle-même ; elle ne peut cesser que par l'influence d'un autre corps plus froid : la seconde, au contraire, cesse immédiatement avec la cause ; cela résulte des développemens que nous avons donnés précédemment pages 29 à 43 (1).

(1) Nous avons déjà dit dans la note de la page 30 qu'on pouvait, jusqu'à un certain point, comparer les oscillations d'un pendule aux oscillations atomiques ; ici cette comparaison peut encore être faite : Si une cause quelconque augmente l'amplitude des oscillations d'un pendule, cette augmentation tend à se conserver indéfiniment, et elle ne cesse après un certain temps qu'à cause de la résistance de l'air et du frottement des appuis ; au contraire, si une cause autre que l'attraction terrestre augmente le nombre des oscillations ; par exemple, si on place un aimant sur le prolongement de la direction verticale d'un pendule dont la boule soit en fer, et qu'ensuite cette cause cesse, c'est-à-dire qu'on enlève l'aimant, le nombre des oscillations redevient aussitôt ce qu'il était d'abord ; de sorte que l'augmentation de vîtesse ne subsiste pas après que la cause a cessé d'agir.

Hygrométrie. L'hygrométrie est une partie de la physique qui a pour objet la mesure des différens dégrés d'humidité des corps et principalement de l'air ; nous ne considèrerons ici que cette dernière substance. Par dégré d'humidité, on n'entend pas la quantité absolue de vapeur qui se trouve dans les pores de l'air, c'est plutôt la facilité plus ou moins grande avec laquelle il en abandonne une partie. L'atmosphère peut être aussi humide pendant deux jours pris l'un en été et l'autre en hiver, et contenir cependant beaucoup moins de vapeur pendant le dernier ; cela vient de ce que la tension *maximum* de la vapeur est d'autant moins élevée qu'il fait moins chaud, et de ce que l'air est d'autant plus disposé à en abandonner une partie qu'elle est plus voisine de la tension *maximum*.

Hygromètre à cheveu. On nomme en général hygromètres les instrumens employés à mesurer les divers dégrés d'humidité de l'air. Le célèbre de Saussure en a inventé un qui est généralement employé : il se compose d'un cheveu fixé à son extrémité supérieure dans une pince, et enroulé par son extrémité inférieure sur une poulie à deux gorges dont l'axe porte une aiguille qui peut parcourir un cadran divisé ; un petit contrepoids suspendu à un fil enroulé sur la seconde gorge maintient le cheveu toujours tendu. Le cheveu doit être dépouillé avant de servir d'une matière grasse qu'il contient naturellement, et qui le garantirait jusqu'à un certain point de l'humidité. Saussure en préparait un certain nombre à la fois ; il en enveloppait avec une toile fine une touffe grosse au plus comme une plume à écrire, et la plongeait ensuite dans un matras à long col rempli d'un mélange de 100 parties d'eau et d'une partie de sulfate de soude ; puis il faisait bouillir la liqueur pendant 30 minutes, passait les cheveux dans de l'eau bouillante, et les étendait pour les faire sécher à l'air.

L'usage de cet instrument est fondé sur ce que l'humidité allonge le cheveu et que le desséchement le raccourcit ; l'aiguille qui tourne tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre,

pour obéir à l'action du cheveu ou à celle du contrepoids, indique donc la facilité plus ou moins grande avec laquelle l'air cède de l'humidité au cheveu, c'est-à-dire le dégré d'humidité. Pour graduer cet instrument, on part comme pour le thermomètre de deux points fixes qui sont ici le dégré d'humidité extrême et l'extrême sécheresse : on place l'appareil sous une cloche bien sèche, et on y met en même temps de la chaux vive qui absorbe la vapeur d'eau contenue dans l'air qu'elle renferme ; le cheveu se raccourcissant fait tourner l'aiguille, mais après un certain temps elle reste stationnaire ; à l'endroit où elle se trouve on marque 0° : on remplace ensuite la chaux vive par de l'eau ; l'air reçoit alors une quantité de vapeur de plus en plus grande, et en abandonne au cheveu qui, en s'allongeant, permet au contrepoids de faire tourner l'aiguille en sens contraire : après un certain temps elle s'arrête encore ; le cheveu est saturé d'humidité, il en contient autant qu'il est possible ; on marque 100° à l'endroit où se trouve l'aiguille. Les deux divisions extrêmes étant tracées, il ne reste plus pour achever l'instrument qu'à partager l'espace qui les sépare sur le cadran en 100 parties égales qu'on nomme des dégrés.

Au lieu d'un cheveu, on peut employer d'autres matières ; mais il en est, comme les cordes, les toiles et en général toutes les matières composées de filamens tordus ensemble, qui se raccourcissent sur leur longueur lorsque l'humidité les pénètre, de sorte que leurs indications doivent être jugées en sens inverse de celles de l'hygromètre à cheveu : cette différence vient de la structure ; l'eau gonfle les cordes, en augmente la grosseur, et les fils se trouvant forcés de parcourir des sinuosités plus étendues, ne peuvent pas conserver une longueur totale aussi grande.

Au reste, quelle que soit la substance qu'on emploie, on n'est jamais sûr que les indications de ces espèces d'instrumens soient proportionnels aux dégrés d'humidité ; cependant, comme elles permettent de reconnaître s'il fait plus humide à un instant qu'à un autre, leur usage n'en est

pas moins très-avantageux, et on ne doit pas manquer de les consulter, ainsi que le baromètre et le thermomètre, quand on veut apprécier exactement l'état de l'atmosphère.

Lorsqu'on veut calculer la quantité de vapeur contenue dans l'atmosphère, dans un mètre cube par exemple, il faut d'abord observer sa force élastique, et c'est ce à quoi on parvient facilement au moyen d'un instrument très-commode dû à M. Pouillet. Son usage est fondé sur des principes fort simples : Concevons un vase à parois très-minces, rempli d'eau et placé dans de l'air à 15° de température, et supposons qu'on refroidisse de plus en plus l'eau et par conséquent les parois du vase; la couche d'air en contact partagera ce refroidissement, ainsi que la vapeur qu'elle contient qui finira bientôt par se déposer comme une petite rosée sur le vase. L'instant où ce phénomène se passe est ce qu'on nomme le *point de rosée;* en plaçant un thermomètre dans le liquide du vase, on peut facilement voir à quelle température il a lieu. Si c'est à 5°, par exemple, on en conclut que la force élastique cherchée est égale à $6^{mm},947$, car telle est la tension *maximum* de la vapeur à 5° (*voy.* pag. 90), et elle ne se déposerait pas si elle n'avait pas atteint sa force élastique *maximum*. Il est d'ailleurs facile de prouver que, dans ces circonstances, le refroidissement ne change pas la tension : cela résulte de ce que le mélange d'air et de vapeur étant soumis à la pression atmosphérique se met en équilibre avec elle, en changeant convenablement de volume pour garder toujours la même tension; ce qui ne peut avoir lieu sans que la vapeur et l'air conservent chacun séparément leur tension première, puisque la tension du mélange égale la somme des tensions des deux fluides (*voy.* pag. 101), et que, si l'une de ces tensions s'accroît, l'autre augmente aussi suivant les mêmes lois.

Cela posé, on comprendra sans peine la description de l'hygromètre de M. Pouillet, dont nous allons rapporter les propres expressions :

« L'*hygromètre à capsule* est représenté dans la fig. 164. Il se

compose d'une capsule C C′ et d'un thermomètre T T′. La capsule est en plaqué d'or extrêmement mince; elle a 4 ou 5 centimètres de diamètre, et 10 ou 12 millimètres d'élévation; elle porte une petite douille par laquelle on la fixe dans un petit bouchon d'ivoire B B′. Le thermomètre est scellé dans la douille; sa boule T est isolée au milieu de la capsule, et sa tige descend jusqu'au pied P P′ de l'instrument. On y laisse un peu d'air pour que la colonne ne se divise pas; ce thermomètre, à la fois très-délicat et très-sensible, s'étend ordinairement depuis 0° à 30°; son échelle HH′ est fendue dans sa longueur et porte par derrière une mince feuille d'ivoire translucide, contre laquelle le sommet de la colonne thermométrique devient parfaitement visible et tranché; c'est l'échelle elle-même qui porte le bouchon et la capsule.

» Lorsqu'on veut faire l'expérience, on verse de l'éther sulfurique dans la capsule; la prompte évaporation donne un prompt refroidissement. On suit de l'œil le sommet de la colonne thermométrique, et en même temps on regarde la paroi nette et brillante de la capsule, afin de saisir l'instant précis où elle commence à se ternir; la température correspondante est celle du point de rosée. On pourrait écrire sur l'échelle les forces élastiques correspondant aux divers dégrés qu'elle porte.

» L'exactitude de cet instrument repose sur l'identité presque parfaite qui existe entre la température de l'éther, celle du thermomètre et celle des parois de la capsule.

» On conçoit que la boule du thermomètre doit être toujours complètement enveloppée d'éther.

» De toutes les surfaces, celle de l'or brillant m'a paru la plus délicate pour montrer le point de rosée ».

Maintenant connaissant la tension de la vapeur, sa température qui est celle de l'atmosphère et son volume, un mètre cube par exemple, on trouvera son poids P′ en remplaçant dans la formule *(1)*, pag. 136, le rapport des densités $\frac{d'}{d}$ qu'il est facile de mettre en évidence par celui

des poids $\frac{P'}{P}$ qui a la même valeur, et en y mettant à la place de t, 100; à celle de p, 0, 76; et à celle de P le poids d'un mètre cube de vapeur à 100° sous la pression de 0^m, 76, lequel s'obtient, comme cela résulte de la formule *(m)*, pag. 139, en multipliant la densité par le volume exprimé en décimètres cubes ou 1000. Cette formule devient alors:

$$P' = p' \frac{284,69}{267+t'}$$

P′ désignant le poids en kilogrammes et p' la tension correspondante au point de rosée en mètres, ou bien P′ désignant le poids en grammes et p' la tension en millimètres.

t' désignant la température de l'atmosphère.

En prenant p' égal à la tension *maximum* de la vapeur à la température t', on trouve une valeur de P′ qui indique le poids de la quantité *maximum* de vapeur qui peut être renfermée dans les pores d'un mètre cube d'air à cette température; et en comparant la première valeur de P′ avec celle-ci, on obtient un rapport qui, exprimé en centièmes, peut être pris pour le dégré d'humidité qui serait alors *le rapport entre la quantité de vapeur contenue actuellement dans l'air, et celle qu'il contiendrait s'il en était saturé sans que sa température change.* Cette définition ne coïncide pas exactement avec celle que nous avons donnée précédemment: elle est préférable, et sans la grande facilité avec laquelle on observe l'hygromètre à cheveu, on devrait employer uniquement les hygromètres dont la construction est fondée sur les derniers principes que nous avons exposés plus haut. M. Gay-Lussac a fait des expériences dans le but d'obtenir une table au moyen de laquelle on peut ramener les indications de l'hygromètre à cheveu à celles des hygromètres de *condensation;* il a trouvé que:

Quand l'hygromètre à cheveu marque 100°, la force élastique de la vapeur est *maximum.*

Quand il marque 90°, elle est à peu près les $\frac{4}{5}$ de son *maximum.*

Quand il marque 80°, elle est à peu près les $\frac{2}{3}$ de son *maximum*.

Quand il marque 70°, elle en est la moitié.

. . . . . 60 . . . . . le tiers.

. . . . . 50 . . . . . le quart.

. . . . . 40 . . . . . le cinquième.

. . . . . 30 . . . . . le septième.

Il est très-rare de voir l'hygromètre tomber à 30°.

Malgré le travail important de M. Gay-Lussac, les observations faites au moyen de l'hygromètre à cheveu laissent toujours un peu d'incertitude; d'ailleurs, cet instrument se détériore promptement, et il est indispensable d'en changer fréquemment le cheveu.

Rosée. Le phénomène de la rosée, connu de tout le monde, est facile à expliquer pour les physiciens, depuis qu'on connaît les circonstances nécessaires à sa production. Ces circonstances sont : l'absence des nuages, le calme de l'atmosphère, et la présence d'un corps qui ne soit pas très-bon conducteur. On ne voit jamais la rosée se déposer sur les métaux, et elle ne paraît jamais non plus sur les autres corps quand il fait grand vent : des expériences nombreuses ont constaté en outre qu'une autre condition nécessaire, mais non toujours suffisante pour sa formation, était que le sol fût plus froid que l'air. D'après cela, rien de plus simple à concevoir : la terre et les plantes qui la recouvrent refroidissant l'air qui les touche, ainsi que la vapeur qui en occupe les pores, condensent cette dernière substance qui se dépose en petites goutelettes. Les nuages empêchent la rosée de se produire, parce qu'ils s'opposent au refroidissement des corps au-dessus desquels ils se trouvent; le vent produit le même effet, parce que, changeant continuellement la couche d'air en contact avec le sol, il maintient à la même température la surface de la terre et l'atmosphère, et fait cesser le contact de l'air avec le sol avant que le refroidissement ait eu le temps de s'opérer; quant aux métaux, ils prennent dans tous les cas avec facilité la température de l'air, à cause de la petite quantité

de mouvement nécessaire pour élever leur température (*voy.* pag. 126), et de la promptitude avec laquelle la chaleur se transmet dans leur intérieur,

La production de la rosée dépend aussi du dégré d'humidité de l'air; plus il est voisin de la saturation, et moins la différence de température entre le sol et l'atmosphère a besoin d'être grande : on peut au reste déterminer d'avance, au moyen de l'hygromètre de condensation, le dégré auquel le sol doit descendre pour que la rosée se forme; il est celui auquel on observe le point de rosée.

Serein. Le serein est une pluie très-fine qui tombe quelquefois au moment où le soleil se cache sous l'horizon, sans que l'atmosphère laisse voir aucun nuage; on l'observe plus souvent dans les lieux voisins de grands amas d'eau que sur les hauteurs. En réfléchissant sur ce phénomène, on voit bientôt cesser la surprise qu'il cause d'abord, et on aperçoit facilement qu'il suffit pour qu'il se produise que l'air soit assez humide pour qu'une partie de la vapeur qui s'y trouve se condense au moment où il se refroidit, à cause de la disparition du soleil. En dernier lieu, la condition est que la température de l'atmosphère s'abaisse jusqu'au dégré qui correspond au point de rosée.

Vents. On distingue les vents en *généraux*, *périodiques* et *irréguliers*. Les vents généraux sont ceux qui soufflent constamment et toujours dans la même direction; on les observe entre les deux tropiques. Les vents périodiques, qu'on nomme aussi vents *alisés* et *moussons*, soufflent constamment pendant plusieurs mois, et sont ordinairement suivis de vents contraires qui se font sentir pendant le même temps. Les vents irréguliers sont ceux qui soufflent de différens côtés dans le même pays, sans que l'époque et la durée puissent en être indiquées : ils règnent presque constamment dans les pays tempérés; on en observe assez souvent à des hauteurs différentes plusieurs qui soufflent avec des vitesses et même dans des directions différentes.

On peut encore diviser les vents en deux grandes classes

les vents *par impulsion*, qui soufflent et qui se propagent dans le même sens, et les vents *par aspiration*, qui soufflent dans un sens et se propagent en sens contraire. Avec le soufflet ordinaire on peut obtenir ces deux espèces de vents : quand on en écarte les palettes, l'air extérieur est aspiré, le courant se dirige vers l'ouverture de la douille ; mais si on examine sa marche, il devient évident qu'il prend naissance vers l'ouverture de la douille où l'air se dilate d'abord, et qu'il ne se fait sentir un peu plus loin que quelques instans après ; lorsqu'on rapproche les palettes, au contraire, le vent souffle et se propage dans le même sens.

Les causes des vents se résument aisément. On peut dire que tout changement de tension ou de densité qui survient dans une partie de l'atmosphère y occasionne des courans plus ou moins rapides, des vents plus ou moins violens. Une différence de température produisant une différence de densité, la présence des nuages qui protègent certaines masses d'air contre l'action du soleil, tandis qu'ils en laissent d'autres exposées à son influence, est une cause qui produit fréquemment des vents irréguliers. La mer qui est tantôt plus chaude que la terre et tantôt plus froide, occasionne aussi des vents vers les côtes : lorsqu'elle est plus chaude, l'air qui repose sur sa surface étant moins dense s'élève, et est remplacé par de l'air qui vient de la côte ; on a ainsi un vent analogue à celui qu'on observe dans une chambre dont une cheminée aspire l'air, le combustible enflammé remplace l'eau de la mer ; quand, au contraire, la température de la terre est plus élevée que celle de la mer, un courant semblable s'établit en sens contraire, et on observe un vent qui souffle de la mer vers la côte.

La chute d'une grande quantité d'eau en peu de temps peut aussi occasionner dans l'atmosphère un vide considérable, à cause de la diminution de volume que la vapeur éprouve quand elle repasse à l'état liquide, et, par suite, des vents d'une grande violence : il suffit pour se former une idée des secousses qui peuvent être produites dans l'air

de cette manière, de savoir qu'on voit quelquefois, surtout dans les régions équatoriales, tomber un pouce d'eau en une heure sur une grande étendue.

Trombes. Le phénomène des trombes est un des plus surprenans que l'on connaisse, tant par ses effets prodigieux que par la grande étendue dans laquelle ils se manifestent. On s'est servi de plusieurs dénominations pour l'indiquer suivant les circonstances dans lesquelles il se présente; on a nommé *trombes marines* celles qu'on observe sur la mer, *trombes d'eau* celles qui naissent sur des lacs ou des rivières, *trombes d'air* celles qui se meuvent sur la terre. Ce sont des espèces de nuages qui se présentent ordinairement sous la forme d'un cône renversé suspendu par sa base à d'autres nuages : les trombes marines et les trombes d'eau soulèvent quelquefois des colonnes d'eau d'un poids énorme et d'une hauteur qui peut aller jusqu'à 2000 pieds et plus; elles rejettent ensuite ces masses liquides qui sont lancées au loin par des vents impétueux qui s'élèvent autour du cône. Les effets des trombes d'air ne sont pas moins redoutables; pour en donner une juste idée, nous rapporterons ici les descriptions de deux trombes observées récemment :

Extrait d'un rapport, rédigé par M. Desmarquoy, sur une trombe qui a dévasté plusieurs communes du Pas-de-Calais, le 6 *juillet* 1822.

« Le 6 juillet 1822, à une heure trente-cinq minutes de l'après midi, dans la plaine d'Ossonval, village situé à six lieues ouest-sud-ouest de Saint-Omer et à six lieues sud-est de Boulogne, des laboureurs durent quitter leur charrue à cause de l'obscurité et par la crainte d'un orage dont ils étaient menacés. Des nuages, venant de différens points, se rassemblaient rapidement au-dessus de la plaine. Bientôt ils n'en formèrent qu'un, qui, seul, couvrait entièrement l'horizon. Un instant après, on vit descendre de ce nuage une vapeur épaisse, ayant la couleur bleuâtre du soufre en combustion

e formait un cône renversé, dont la base s'appuyait contre nue. La partie inférieure du cône, qui descendait sur la rre, forma bientôt, en tournoyant avec une vîtesse consirable, une masse oblongue, de 30 pieds environ, détachée 1 nuage. Elle s'éleva en faisant le bruit d'une bombe de os calibre qui éclate, laissant sur la terre un enfoncement, 1 formé de bassin circulaire, de 20 à 25 pieds de circonfé-ence, et de 3 à 4 pieds de profondeur à son milieu. A peine oignée de cent pas du point de départ, et dirigeant sa route e l'ouest à l'est, la trombe franchit la haie d'un manoir, y bat une grange, et donne à la maison, plus solidement bâtie, ine secousse que le fermier a comparée à celle d'un tremblement de terre. Elle avait, en franchissant la haie, déchiré et emporté la couronne des arbres les plus forts : vingt-cinq à trente arbres étaient renversés et couchés en sens divers, de manière à prouver que la trombe faisait son chemin en tournoyant. D'autres furent enlevés et accrochés, ainsi que plusieurs couronnes, au sommet des plus grands arbres (de 60 à 70 pieds de haut).

» Après ces premiers effets, la trombe parcourut une distance de deux lieues sans toucher à terre, en emportant de très-grosses branches d'arbres, qu'elle vomissait à droite et à gauche avec bruit; arrivée à la pointe élevée du bois de Fanquembergue, elle y arracha de nouveau la tête de plusieurs chênes, que l'on vit passer avec elle au-dessus du village de Vendôme, situé au pied de la colline, du côté *est* de la forêt.

» La trombe ne fit dans cette commune d'autre ravage que celui d'enlever avec sa racine un sycomore très-gros, dans une prairie appartenant à M. Degroseiller; l'arbre fut retrouvé à la distance de six cents pas.

» Continuant sa route à la manière d'un boulet qui frappe la terre et se relève en ricochant, la trombe se porta au village d'Audinctnu, où il abattit la toiture de trois maisons et enleva plusieurs arbres, entre autres cinq ormes de très-grande hauteur, tous cinq sortant d'une même souche.

» Au sortir de la vallée où sont situés ces derniers villages, la trombe s'éleva sur une montagne dite de *Capelle*. Plusieurs paysans qui y labouraient virent avec effroi ce phénomène extraordinaire traverser leurs habitations; ils craignirent bientôt pour eux-mêmes, et n'eurent, pour échapper au danger, que le temps de se coucher, en se tenant fortement à leurs instrumens aratoires. Ils remarquèrent avec étonnement que leurs chevaux étaient tristes, mais ne s'effrayèrent pas : le soc d'une de leurs charrues fut enfoncé dans la terre assez fortement pour résister aux efforts de trois chevaux; ils employèrent une pioche pour ne pas le casser.

» Ce fut par ces laboureurs, qui étaient placés sur la montagne de manière à voir la trombe arriver et continuer sa route, que je parvins à connaître à peu près sa forme, sa grandeur et les élémens présumés qui pouvaient entrer dans sa composition. La forme était ovale; la longueur leur parut de trente pieds environ; l'autre diamètre pouvait en avoir vingt. La trombe tournait dans sa marche de manière à présenter successivement chacune de ses faces à tous les points de l'horizon. Il sortait de temps en temps, de son centre, des globes de feu, et souvent aussi des globes de vapeurs comme soufrées; les unes et les autres rejetaient, dans divers sens, des branches que le météore avait entraînées de très-loin.

» Le bruit qu'il faisait dans sa marche rapide était semblable à celui d'une voiture pesante, courant au galop sur un chemin pavé. On entendait une explosion semblable à celle d'un fusil à chaque sortie d'un globe de feu ou de vapeur, le vent, qui était impétueux, joignait à ce bruit un sifflement terrible. Après avoir déchiré la terre et emporté tout ce qui lui résistait dans un certain point, la trombe s'élevait au-dessus du sol, pour aller à une lieue et quelquefois à deux lieues de distance recommencer ses ravages. C'est ainsi qu'en quittant le mont Capelle, et suivant toujours la même direction, elle alla enlever différentes meules

de foin et beaucoup d'arbres à Hernin-Saint-Julien, distant d'une lieue de la montagne. De ce village à Witernestre, sur un intervalle de trois lieues, la trombe ne fit aucun ravage marquant; on reconnut seulement sur la montagne qui sépare Hernin d'Étré-Blanche, un sillon de la largeur de trente pas, dans lequel le grain était détruit, dans une étendue de trente arpens de terre, placés au sommet.

» De là elle pénétra dans la vallée de Witernestre et Lambre. Le premier de ces villages, composé de quarante habitations, n'en conserva que huit intactes. Trente-deux maisons, avec leurs granges, furent renversées, et une énorme quantité d'arbres abattus, déchirés et emportés à une grande distance. On remarqua à Witernestre que les pignons et les murs des maisons furent couchés d'une manière divergente de dedans en dehors.

» Le désastre ne fut pas moins considérable à Lambre. Plusieurs personnes distinguèrent parfaitement la marche tournoyante du météore, sa couleur d'un brun soufré et le centre de feu ardent, d'où sortaient des éclats de vapeurs bitumeuses. Les arbres qui entouraient l'église furent cassés et déracinés, le mur et le toit de la maison du curé enlevés, et dix-huit maisons, la plupart bâties en briques, sapées à leur fondation, avec le phénomène extraordinaire de l'écartement des murs renversés en dehors.

» Une circonstance heureuse, au milieu de ce grand désastre, c'est que personne n'a péri, pas même dans les deux derniers désastres; un seul individu de Witernestre a été grièvement blessé au bras par une poutrelle.

» En quittant Lambre, la trombe se divisa; une partie se dissipa dans les airs; l'autre, qui ne paraissait plus qu'un nuage, chassée par un vent impétueux venant du nord-ouest, se porta sur Lillers, bourg à trois lieues de Lambre, où elle cassa et déracina près de deux cents arbres, dans la belle prairie de M. Desoulers; ensuite elle se dissipa à son tour. A trois heures, le temps était calme, le ciel presque entièrement découvert, et le tonnerre, qui n'avait cessé de

se faire entendre de tous les points de l'horizon, finit en même temps que la trombe. La soirée et la nuit suivante furent très-belles ».

Sur une trombe qui a été observée dans les environs de Trèves, le 25 juin 1829, décrite par M. le professeur Grossman.

« Vers deux heures de l'après midi, une lieue au-dessous de Trèves, à l'est-nord-est de Ruwer et de Pfalzel, à environ 20° au-dessus de l'horizon, un phénomène se montra, qui frappa d'étonnement et mit pendant une demi-heure dans une attente inquiète un grand nombre d'hommes qui étaient occupés au dehors.

» Le ciel, à la suite de la pluie qui venait d'avoir lieu, était encore couvert, lorsque tout-à-coup, du milieu d'un nuage noir qui s'élevait de l'est-nord-est, une masse lumineuse commença à se mouvoir en sens contraire et à le déchirer violemment. Le nuage prit bientôt, vers le haut, la forme d'une cheminée, de laquelle se serait échappée une fumée d'un gris blanchâtre, assez mélangée par intervalles de jets de flamme, et s'élevant par plusieurs ouvertures avec autant de force (ainsi s'exprimèrent un certain nombre de témoins) que si elle avait été chassée avec la plus grande vivacité par plusieurs soufflets.

» Le météore était arrivé au-dessus des vignes de Disburg et vis-à-vis Ruwer, lorsqu'à quelque distance plus au sud sur la rive droite de la Moselle, tout-à-fait en contact avec le sol, un nouveau météore, comme il sembla à plusieurs individus, apparut d'une manière effrayante; il dispersa des masses de charbon de terre entassées autour d'un arbre, renversa un ouvrier d'un four à chaux qui se trouvait là, et se précipita à travers la Moselle avec un fracas épouvantable, comme si un grand nombre de pierres se heurtaient ensemble. L'eau s'élança en une haute colonne.

» Roulant avec le même fracas, ce dernier météore, toujours à terre, se dirigea de la Moselle à travers les campagnes

de Falzel, laissant des traces évidentes de sa route en ziz-zag à travers les champs de blé et de légumes. Une partie des légumes fut entièrement détruite, une autre partie couchée et hachée, le reste enlevé au loin dans les airs.

» Plusieurs femmes, près desquelles passa le météore, s'évanouirent; d'autres, plus éloignées, se cachèrent ou s'enfuirent en criant : Tous les champs sont en feu. Deux ouvriers, qui étaient montés sur un arbre, observèrent le météore dans tout son trajet; un autre eut même la pensée courageuse de le suivre, et cela était facile en marchant d'un pas ordinaire. Mais dans un des ziz-zag qu'il décrivait, le météore l'enveloppa tout-à-coup : il se sentit tantôt tiré en avant, tant violemment soulevé; il se pencha en s'appuyant fortement à terre avec ses outils, mais il n'en fut pas moins jeté à la renverse. Le tourbillon pourtant l'abandonna et continua sa route.

» Il ne se souvient d'aucune impression particulière qui aurait affecté soit l'odorat, soit le goût, mais seulement d'un bruit assourdissant. Il affirme qu'il y avait deux courans, dont l'un s'élevait obliquement, entraînant les tiges et les épis avec d'autres corps légers; l'autre avait une direction contraire.

» La route que le météore s'était frayée à travers les champs avait, suivant différens rapports, de 10 à 18 pas de largeur, sur une longueur de 2100 pas. Sa forme était à peu près conique, sa couleur tantôt gris-blanc ou jaune, tantôt brun obscur, le plus souvent celle du feu. Le premier météore était en l'air au-dessus de celui-ci, à peu près parallèle, en avant vers le nord; il présenta, pendant environ 18 minutes, une grande masse d'un gris blanchâtre, qui semblait souvent vomir de la fumée rouge de flamme, et qui, vue à la distance d'environ une demi-lieue, avait la forme d'un serpent de 140 pas de long, dont la tête était vers le nord-nord-est, la queue à l'opposite.

» En 8 à 10 minutes de temps, la queue s'était changée déjà en s'abaissant; au moment où elle allait toucher la

terre, tout le phénomène disparut, et en même temps aussi le météore inférieur, sans que, ni de la partie élevée en l'air, ni, comme l'assure un témoin oculaire, de la partie inférieure, il y eût aucune explosion; mais alors une odeur de soufre très-puante se répandit sur toute la campagne. Presque aussitôt un orage éclata sur les bois situés au nord-nord-ouest du lieu où s'était montré le météore, et fut accompagné d'une grêle à grains extraordinairement gros.

» Le soleil ne parut point pendant tout ce temps, à ce qu'affirment la plupart des spectateurs. Il n'y avait aucun souffle de vent.

» Le météore supérieur fut aperçu de Gutweiler, Cossel et autres endroits, comme aussi de Trèves; il paraît être descendu des hauteurs de Hochwald ».

Jusqu'à présent les physiciens n'ont pas encore trouvé d'explication plausible de ce phénomène extraordinaire.

Vapeur vésiculaire. L'eau, outre l'état liquide et l'état de vapeur sous lesquels nous l'avons considérée précédemment, peut en prendre un qui est pour ainsi dire intermédiaire; on la nomme alors *vapeur vésiculaire* : elle se compose d'une multitude de petites sphères creuses très-légères, et qu'on peut observer à l'œil nu ou mieux à l'aide d'une lentille, en ayant soin toutefois de faire en sorte qu'elles soient bien éclairées. Sous cet état, l'eau compose les nuages et les brouillards, ainsi que de Saussure l'a constaté par des expériences directes; c'est aussi de la vapeur vésiculaire qu'on aperçoit au-dessus d'un vase contenant un liquide porté à une température voisine de l'ébullition. Dans cette dernière circonstance, le liquide échauffe l'air qui se trouve immédiatement au-dessus de lui, et le sature de vapeur; cet air étant moins dense s'élève alors et se mêle avec d'autre air plus froid; la température s'abaisse, et la vapeur se condense en partie et devient visible en passant à l'état vésiculaire; ensuite elle se répand dans une masse d'air plus considérable qui lui offre un plus grand nombre de pores.

passe à l'état de vapeur et disparaît. Quand on veut :aminer les vésicules qui composent cette espèce de fumée, ı les aperçoit facilement en plaçant le liquide chaud au leil par un temps calme, et le colorant en noir par un :u d'encre ou toute autre matière, afin de les faire res-rtir.

Brouillards. Les brouillards sont des amas de vapeur siculaire qui se forment dans des circonstances qu'on peut bserver avec précision au moyen des instrumens déjà dé-its : quelquefois ils s'élèvent au-dessus d'une rivière plus ıaude que l'air, et qui est alors dans le même cas que le quide de la dernière expérience ; d'autres fois ils se forment ıns un air plus chaud que l'eau de la rivière, et qui est turé d'humidité ; cet air se refroidit en s'approchant de rps plus froids que lui, et laisse passer à l'état vésiculaire ıe partie de la vapeur qu'il contenait.

Le mélange de deux masses d'air saturées de vapeur ıut encore produire des brouillards ; il suffit pour cela ı'elles soient à des températures différentes. Par exemple, ɜ masses étant égales, supposons que la première soit à ɔ° de température et la seconde à 5° ; après le mélange, ıne aura perdu autant que l'autre aura gagné, et leur mpérature commune sera 10°. Or, à 15°, la tension *ma-imum* (*voy.* pag. 90) est $12^{mm},8$, et à 5°, elle est $6^{mm},9$; : qui donne pour tension moyenne $9^{mm},9$, nombre qui ırpasse la tension *maximum* correspondante à 10° : une ɔndensation aura donc lieu par suite du mélange, et l'eau ıssant à l'état vésiculaire formera un brouillard.

Nuages. Les nuages sont des brouillards épais situés à es hauteurs plus ou moins grandes ; de même que les rouillards, ils sont naturellement plus denses que l'air : s forces qui les soutiennent dans l'atmosphère ne sont pas ès-bien connues ; on admet généralement que les courans ıs à l'air qui s'élève après s'être échauffé par son contact vec le sol et la dilatation de l'air dans les vésicules par la ıaleur solaire, sont les deux causes qui produisent cet

effet ; mais il est probable que l'observation en fera découvrir d'autres plus puissantes.

La formation des nuages doit être attribuée au refroidissement de l'air ou à un mélange de deux airs saturés de vapeur : une augmentation de chaleur peut les faire disparaître en vaporisant les enveloppes des vésicules ; c'est ce que l'on observe souvent lorsque la température s'élève, et que des nuages légers voltigent dans l'atmosphère.

La pluie est due à la condensation des nuages ; elle a lieu toutes les fois que les circonstances ne sont plus assez favorables pour que la vapeur vésiculaire reste suspendue dans l'air. Quant à la grosseur des gouttes de pluie, elle s'explique facilement par la réunion de plusieurs petites gouttes pendant leur chute, et par l'accroissement que chaque goutte éprouve en condensant autour d'elle la vapeur qu'elle rencontre sur sa route. Cette dernière cause devient évidente quand on remarque 1° que la pluie est ordinairement plus froide que la partie inférieure de l'atmosphère, et 2° que la quantité de pluie qui tombe à une certaine hauteur est moindre que celle qui parvient à la surface de la terre.

La quantité de pluie qui tombe dans chaque pays est un élément très-important qu'il faut joindre aux températures moyennes pour connaître parfaitement le climat. Les physiciens se servent, dans les observations de ce genre, d'instrumens qu'ils nomment *udomètres* ou *pluvimètres*, ils se composent essentiellement d'un vase cylindrique et dont l'orifice présente une surface exactement connue, et d'une mesure pareillement cylindrique, mais dont l'ouverture circulaire a une surface beaucoup moindre, cent fois plus petite, par exemple : le vase doit être disposé de manière que son orifice soit horizontal, et, à sa partie inférieure, il doit, pour qu'on puisse ne le jamais déranger, être muni d'un robinet par lequel on donne écoulement à l'eau dans la petite mesure. Quand on veut faire une observation, il faut évaluer avec soin la hauteur à laquelle l'eau tombée dans le vase pendant la pluie, s'élève dans la mesure après qu'on l'y a reçue; puis,

pour avoir la hauteur à laquelle l'eau se serait élevée dans le cylindre ou, ce qui est la même chose, sur un sol parfaitement horizontal, on multiplie cette hauteur par le rapport de la surface de l'orifice de la mesure à la surface de l'orifice du vase, rapport qui est $\frac{1}{100}$ avec les dimensions indiquées plus haut.

A Paris, à l'Observatoire, on a fait de nombreuses observations au moyen de deux udomètres situés l'un dans la cour, et l'autre sur la terrasse à 28 mètres plus haut; nous allons donner les résultats obtenus depuis 1817 pendant chaque année :

Tableau des quantités de pluie qui ont été recueillies à l'Observatoire de Paris depuis 1817.

Années.	Dans la cour.	Sur la terrasse.
1817	57 cent.	51 cent.
1818	52	43
1819	69	62
1820	43	38
1821	65	58
1822	48	42
1823	52	46
1824	65	57
1825	52	47
1826	47	41
1827	58	50
1828	63	59
1829	59	56
1830	63	56
Moyenne. . . .	57	50

L'inspection de ce tableau fait voir qu'à 28 mètres au-dessus du sol la quantité de pluie qui tombe pendant une année est toujours moindre que celle qui tombe sur la surface de la

terre. Nous rapporterons aussi des résultats obtenus dans quelques autres pays :

Tableau des quantités moyennes de pluie qui ont été recueillies en différens points du globe.

Cap-Français (Saint-Domingue)	308	centim.
La Grenade (Antilles)	284	
Tivoli (Antilles)	273	
Carfagnana	249	
Bombay	208	
Calcutta	255	
Kendal	156	
Gênes	140	
Charlestown	130	
Joyeuse	129	
Pise	114	
Milan	96	
Naples	95	
Douvres	95	
Viviers	92	
Lyon	89	
Liverpool	86	
Manchester	84	
Venise	81	
Lille	76	
Utrecht	73	
La Rochelle	66	
Paris	56	
Marseille	47	
Pétersbourg	46	

Il est important d'observer aussi, outre les résultats pour toute une année, les résultats mensuels et les quantités d'eau fournies par les pluies très-abondantes; on peut citer, comme un résultat des plus remarquables en ce genre, ce qui s'est

passé à Gênes, où il est tombé, le 25 octobre 1822, jusqu'à 30 pouces d'eau ou 82 centimètres.

La connaissance de la quantité de pluie qui tombe chaque année, a fourni aux physiciens le moyen d'expliquer l'origine des fontaines; on était loin de penser, avant d'avoir fait des observations précises, qu'elle fût suffisante pour entretenir tous les fleuves; mais Mariotte, qui a discuté cette question avec son exactitude ordinaire, a fait voir qu'il tombe chaque année de l'atmosphère une quantité beaucoup plus considérable que celle qui s'écoule dans la mer, de sorte qu'on est forcé d'admettre qu'il s'en évapore sur la surface de la terre une grande quantité, qui concourt à la formation des nuages avec celle qui s'élève sans cesse en vapeur au-dessus de la mer. (*Voy.* le traité du mouvement des eaux, Paris, 1718, pages 38 et suivantes).

Neige. Grêle. On sait encore peu de choses sur la formation de la neige et de la grêle; voici ce que l'abbé Nollet dit sur ce sujet dans son traité de physique, tome III, pages 382 et 383 :

« Les refroidissemens qui se font dans la région des nuages, non seulement condensent les vapeurs et les convertissent en pluies, il arrive souvent que le froid est assez considérable pour les geler : elles tombent alors ou en *neige* ou en *grêle;* en neige, si la congélation saisit les vapeurs avant qu'elles se soient réunies en grosses gouttes, car ces glaçons infiniment petits, s'unissant mal entre eux, ne peuvent composer que des flocons fort légers; en *grêle*, si les particules d'eau ont le temps de se joindre avant que d'être prises par la gelée.

» La grêle ne devrait jamais être naturellement plus grosse que des gouttes de pluie; si l'on en voit quelquefois tomber qui égale en grosseur une noix ou un œuf, c'est que plusieurs grains s'unissent ensemble en tombant; ou bien, lorsqu'ils ont reçu un dégré de froid suffisant, ils gèlent toutes les particules d'eau qu'ils touchent dans leur chûte, et ils deviennent comme les noyaux de plusieurs couches de

glace qui augmentent beaucoup leur volume et leur poids. C'est pour cela que la grosse grêle est toujours fort anguleuse, et que les grains qui sont arrondis ne sont jamais d'une densité uniforme, depuis la surface jusqu'au centre ».

Maintenant qu'on sait que la pluie, qui est toujours beaucoup moins froide que la grêle, condense et réunit à elle une quantité de vapeur notable pendant qu'elle traverse les couches inférieures de l'atmosphère, ne pourrait-on pas attribuer l'accroissement des grains à un effet semblable, mais plus intense, et qui pourrait l'être assez, lorsque la grêle serait très-froide, et l'air saturé d'humidité pour porter les grêlons au volume qu'on leur voit quelquefois? Cette opinion pourrait acquérir un nouveau dégré de vraisemblance, si l'expérience prouvait que les gros grains de grêle ne s'observent que quand l'hygromètre indique un grand dégré d'humidité.

Chute de diverses substances venant de l'atmosphère. Outre les météores dont nous venons de parler, on en observe aussi quelquefois de plus surprenans : on voit tomber de l'atmosphère, à des époques plus ou moins reculées, des pierres, des poussières de diverses couleurs mélangées avec de l'eau et d'autres substances. La chute des pierres ou *aërolithes* est restée jusqu'à présent sans explication plausible : plusieurs physiciens, à la vérité, les regardent comme étant lancées par des volcans de la lune; mais il faudrait, pour qu'elles pussent arriver jusqu'à nous, qu'elles fussent projetées avec une force capable de leur faire dépasser le point où l'attraction de la terre contrebalance celle de la lune, et cela rend cette opinion peu probable. (*Voy.* la note de la page 13). Quant aux poussières de diverses natures, on admet généralement qu'elles sont enlevées de la surface de la terre, et emportées par le vent à de grandes distances où elles retombent avec la pluie. M. Chladni a rassemblé dans deux tableaux que nous allons rapporter un grand nombre d'observations de ce genre :

Chutes d'aërolithes observées depuis 1801 *jusqu'à* 1824.

« Sur l'île des Tonnelliers. *Bory de Saint-Vincent.*

1802, en septembre. Pierres en Ecosse. *Monthly Magazine*, octobre 1802.

1803, 26 avril. Pierres aux environs de l'Aigle.

1803, 4 juillet. A East-Norton. *Phil. Mag.* et *Bibl. Brit.*

1803, 8 octobre. Une pierre près d'Apt.

1803, 13 décembre. Près Eggenfelde. *Imhof.*

1804, 5 avril. Près Glasgow. *Ph. Mag.* et *Bibl. Brit.*

De 1804 à 1807. A Dordrecht. *Van Beck-Calkoen.*

1805, 25 mars. Pierres à Doroninsk, en Sibérie. *Annales de Gilbert*, T. XXIX et XXXI.

1805, en juin. Pierres à Constantinople. *Kongas-Ingigian.*

1806, 13 mars. A Alais.

1806, 17 mai. Pierre à Hantshire. *Monthly Mag.*

1807, 13 mars. Près Timochin, en Russie. *Annales de Gilbert.*

1807, 14 décembre. Pierres près de Weston, en Connecticut.

1808, 19 avril. A Borgo San-Donino. *Guidotti* et *Sgagnoni.*

1808, 22 mai. Près Stannern, en Moravie.

1808, 3 septembre. A Lissa, en Bohême. *De Schreibers.*

1809, 17 juin. En mer, près de l'Amérique septentrionale. *Medical. Reposit.* et *Bibl. Brit.*

1810, 30 janvier. Dans Caswel, en Amérique. *Phil. Mag.* et *Medical. Deposit.*

1810, en juillet. Une grande pierre à Shabad, dans l'Inde. Le météore a causé de grands dégâts. *Phil. Mag.*, T. XXXVII.

1810, en août. Une pierre dans le comté de Tipperary, en Irlande. William Higgins en a publié l'analyse.

1810, 23 novembre. Pierres à Charsonville, près d'Orléans.

1811, 12-13 mars. Une pierre dans la province de Poltawa, en Russie. *Annales de Gilbert*, T. XXXVIII.

1811, 8 juillet. Pierres à Berlanguillas.

1812, 10 avril. Près Toulouse.

1812, 15 avril. Une pierre à Erxleben. *Annales de Gilbert*, T. XL et XLI.

1812, 5 août. A Chantonay. *Brochant*.

1813, 14 mars. Pierres à Cutro, en Calabre, pendant la chute d'une grande quantité de poussière rouge. *Bibl. Britan.*, octobre 1813.

1813, en été. Beaucoup de pierres près Malpas, non loin de Chester. *Thomson, Ann. of Philosophy*, novembre 1813. (La relation ne me paraît pas digne d'une entière confiance, parce qu'elle est anonyme, et surtout parce qu'il n'y a pas eu d'autres notices de cet événement).

1813, 10 septembre. Pierres près Limerik, en Irlande. *Phil. Mag.* et *Gentlem. Mag.*

1813, 13 décembre, d'après Nordenskiold (*Annales de chimie*, T. XXV, p. 78, ou :

1814, en mars, d'après un rapport communiqué à l'Académie de Pétersbourg. Pierres aux environs de Lontalax et Sawitaipal, non loin de Wiborg, en Finlande. Ces pierres ne contiennent pas du nickel.

..... (M. Murray fait mention dans le *Phil. Mag.*, juillet 1819, page 39, d'une pierre tombée à Pulrose, dans l'île de Man, sans préciser la date; il dit que l'événement est certain, et que la pierre était très-légère et semblable à une scorie. Elle devait donc ressembler aux pierres tombées en Espagne en 1438).

1814, 3 février. Pierre près Bacharut, en Russie. *Ann. de Gilbert*, T. L.

1814, 5 septembre. Pierre prés d'Agen.

1814, 5 novembre. Dans Doab, aux Indes. *Phil. Mag.*, *Bibl. Brit.*, *Journal of sciences*.

1815, 18 février. Une pierre à Duralla, aux Indes. *Phil. Magazine*, août 1820, page 156.

1815, 3 octobre. A Chassigny, près de Langres. *Pistollet*, *Ann. de chimie*.

1816. Pierre à Glastonbury, en Sommersetshire. *Philos. ag.*

1817, entre le 2 et le 3 mai. Probablement des masses ıt tombées dans la mer Baltique. Après l'apparition d'un ınd météore à Gothembourg, on a vu, à Odensée, une ıie de feu descendre très-rapidement vers le S.-E. *Jour-ux danois.*

1818, 15 février. Une grande pierre paraît être tombée Limoges, dans un jardin au sud de la ville. Après l'explo-ın d'un grand météore, une masse qui tomba fit, dans la re une excavation d'un volume égal à celui d'une grande taille. *Gazette de France* et *Journal du Commerce*, du 25 rier 1818.

(Il aurait fallu, et il serait encore convenable, de déterrer masse).

1818, 30 mars. Une pierre près Zaborzyca, en Volhinie nalysée par M. Laugier. *Ann. du Muséum*, 17e année, cahier).

1818, 10 août. Une pierre est à Slobotka, dans la province Smolensk, en Russie. *D'après plusieurs journaux.*

1819, 14 juin. A Jonzac, département de la Charente-férieure. Ces pierres ne contiennent pas de nickel.

1819, 13 octobre. Pierres près de Politz, non loin de ıra ou Kostritz, dans la principauté de Reuss. *Ann de lbert*, T. LXIII.

1820, entre le 21 et le 22 mars, dans la nuit, à Veden-rg, en Hongrie. *Hesperus*, T. XXVII, cah. 3.

1820, 12 juillet. Pierres près de Likna, dans le cercle Dunaborg, province de Witepsk, en Russie. *Théodore otthus. Ann. de Gilbert*, T. LXVII.

1821, 15 juin. Pierres près de Juvenas. Elles ne contien-nt pas de nickel.

1822, 3 juin. A Angers. *Ann. de chimie.*

1822, 10 septembre. Près Carlstadt, en Suède.

1822, 13 septembre. Près la Basse, canton d'Epinal, partement des Vosges. *Ann. de chimie.*

1823, 7 août. Près Nobleboro, en Amérique. *Silliman, American Journ.*, T. VII.

1824, vers la fin de janvier. Beaucoup de pierres près Arenazzo, dans le territoire de Bologna. L'une d'elles, pesant 12 livres, est conservée dans l'Observatoire de Bologne. *Diario di Roma.*

1824, au commencement de février. Grande pierre dans la province d'Irkutsk, en Sibérie. *Quelques journaux.*

1824, 14 octobre. Près Zébrak, cercle de Béraun, en Bohême. La pierre est conservée au Muséum national de Prague ».

Chutes de diverses matières observées depuis 472 jusqu'à 1824.

« L'an 472 de notre ère (suivant la chronologie de Calvisius, Playfair, etc.), le 5 ou 6 novembre, grande chute de poussière noire (probablement aux environs de Constantinople); le ciel semblait brûler. *Procope* et *Marcellin* l'ont attribué au Vésuve. *Menæa, Molog. Græc., Zonaras. Cedrenus, Theophanes.*

652. A Constantinople. Pluie de poussière rouge. *Theophanes, Cedrenus, Mathieu Erithr.*

743. Un météore et poussière dans différens endroits. *Theophanes.*

.... Au milieu du neuvième siècle. Poussière rouge et matière semblable au sang coagulé. *Continuat. du Georg. Monachus, Kazwini, El-Mazen.*

869. Pluie rouge pendant trois jours, aux environs de Brixen. *Hadrianus Barlandus.* (Peut-être ce phénomène est-il le même que le précédent).

929. A Bagdad, rougeur du ciel, et chute de sable rouge. *Quatremère.*

1056. En Arménie, neige rouge. *Matth. Eretz.*

1110. En Arménie, dans la province de Vaspouragan, en hiver, durant une nuit obscure, chute d'un corps enflammé dans le lac de Van. L'eau devint de couleur de sang, et

terre était fendue dans différens endroits. *Matth. Eretz. Notices et extraits de la Bibl.*, T. IX).

1222 ou 1219. Pluie rouge aux environs de Viterbo. *iblioth. Italiana*, T. XIX.

1416. Pluie rouge en Bohême. *Spangenberg.*

?.... Dans le même siècle, à Lucerne, chute d'une pierre d'une masse semblable à du sang coagulé, avec apparition un dragon igné (ou météore de feu). *Cysat.*

1501. Pluie de sang dans différens endroits, suivant quelies chroniques.

1543. Pluie rouge en Westphalie. *Sunii Commentarii.*

1548, 6 novembre (probablement en Thuringue). Chute un globe de feu, avec beaucoup de bruit; on trouva ensuite r le sol une substance rougeâtre, semblable au sang coagulé. *pangenberg.*

1557. En Poméranie. Grandes plaques d'une substance mblable au sang coagulé. *Mart. Zeiler*, T. II, epist. 386.

1560. Jour de la Pentecôte, pluie rouge à Emden et à ouvain, etc. *Fromond.*

1560, 24 décembre. A Lillebonne, météore de feu et uie rouge. *Natalis Comes.*

? 1552, 5 juillet. A Rockhausem, non loin d'Erfurt, ute d'une grande quantité d'une substance fibreuse semable à des crins humains, à la suite d'une tempête horrible, ialogue à celles qu'amènent les tremblemens de terre. *Tichel Bapst.*

1586, 3 décembre. A Verde (en Hanovre), chute de aucoup de matière rouge et noirâtre, avec éclairs et tonerre (météore de feu et détonnation). Cette matière brûit les planches sur lesquelles elle tombait. *Manuscrits de ilomon*, sénateur à Brême.

1591. A Orléans, à la Madeleine, pluie de sang. *Lemaire* (Ln.).

1618, en août. Chute de pierres, météore de feu et pluie sang, en Stirie. *De Hammer.*

1623, 12 août, à Strasbourg. Pluie rouge. *Elias Habrecht*, ns un mémoire imprimé à Strasbourg, en 1623.

1637, 6 décembre. Chute de beaucoup de poussière noire dans le golfe de Volo et en Syrie. *Phil. Transact.*, T. I, pag. 377.

1638. Pluie rouge à Tournay.

1643, en janvier. Pluie de sang à Vachingen et à Weinsberg, suivant une *chronique manuscrite de la ville de Heilbroun.*

1645, 23 ou 24 janvier. A Bois-le-Duc.

1640, 6 octobre. Pluie rouge à Bruxelles. *Kronland* et *Wendelinus.*

1652; en mai. Masse visqueuse, à la suite d'un météore lumineux, entre Sienne et Rome. *Miscell. Acad. nat. curios, ann.* 9, 1690.

? 1665, 23 mars, près Laucha, non loin de Naumburg, il tomba une substance fibreuse, comme de la soie bleue, en grande quantité. *Joh. Prætorius.*

1678, 19 mars. Neige rouge, près de Gênes. *Philos. Trans.*, 1678.

1686, 31 janvier, près de Rauden, en Courlande, et en même temps en Norwège et en Poméranie. Une grande quantité d'une substance membraneuse, friable et noirâtre, semblable à du papier demi-brûlé. *Miscell. Ac. nat. cur.*, *ann.* 7, *pro ann.* 1688, *in Append.* (M. le baron Théodore de Grotthus a analysé une portion de cette substance qui avait été conservée dans un cabinet d'histoire naturelle, et y a trouvé de la silice, du fer, de la chaux, du carbone, de la magnésie, une trace de chrôme et de soufre, mais point de nickel).

1689. Poussière rouge à Venise, etc. *Valisnieri.*

1711, 5 et 6 mai. Pluie à Orsion, en Suède. *Act. Lit. Sueciæ*, 1731.

1718, 24 mars. Chute d'un globe de feu dans l'île de Lethy, aux Indes. On a trouvé ensuite une matière gélatineuse. *Barchewitz.*

1719. Chute de sable dans la mer Atlantique (*lat. sept.* 45°, *longit.* 322° 45′), accompagnée d'un météore lumi-

neux. *Mém. de l'Acad. des Sciences*, 1719, Hist., p. 23. (Il aurait fallu examiner ce sable avec plus d'attention).

1721, vers le milieu de mars, Stuttgard. Météore et pluie rouge en grande quantité, d'après une notice écrite le 21 mars par un conseiller. *Vischer*.

1727, 21 mai. Chute de terre attirable à l'aimant, sur la mer Adriatique, entre Monopoli et Lissa. *Zanichelli*, dans les *Opusculi di Calogera*, T. XVI.

1744. Pluie rouge à Saint-Pierre-d'Arena, près de Gênes. *Richard*.

1755, 20 octobre, sur l'île de Getland, l'une des Orcades. Poussière noire qui n'était pas venue de l'Hécla. *Philosoph. Transact.*, vol. L.

1755, 13 novembre. Rougeur du ciel et pluie rouge dans différens pays. *Nov. act. nat. cur.*, T. II.

1763, 9 octobre. Pluie rouge à Clèves, à Utrecht, etc. *Mercurio historico y politico de Madrid*, octobre 1764.

1765, 14 novembre. Pluie rouge en Picardie. *Richard*.

1781, en Sicile. Poussière blanche qui n'était pas volcanique. *Gioeni*, *Phil. trans.*, T. LXXII.

1792, 27, 28 et 29 août sans interruption. Pluie d'une substance semblable à de la cendre dans la ville de la Paz, au Pérou. Ce phénomène ne pouvait pas être attribué à un volcan; on avait entendu des explosions et vu le ciel tout éclairé. La poussière occasionna de grands maux de tête, et donna la fièvre à plusieurs personnes. *Mercurio Peruano*, T. VI, 1792.

1796, 8 mars. On a trouvé en Lusace, après la chute d'un globe de feu, une matière visqueuse. *Ann. de Gilbert*, T. IV.

1803, 5 et 6 mars, en Italie. Chute de poussière rouge, sèche dans quelques lieux et humide dans d'autres *Opuscoli scelti*, T. XXII.

1811, en juillet, près de Heidelberg. Chute d'une substance gélatineuse à la suite de l'explosion d'un météore lumineux. *Ann. de Gilbert*, T. LXVI.

1813, 13 et 14 mars, en Calabre, Toscane et Frioul. Grande chute de poussière rouge et de neige rouge, avec beaucoup de bruit. Il tomba en même temps des pierres à Cutro, en Calabre. *Bibl. Brit.*, octobre 1813 et avril 1814.

(Sementini a trouvé dans la poussière : silice, 33; alumine, 15 1/2; chaux, 11 1/4; fer, 14 1/2; chrôme, 1; carbone, 9. La perte était 15. Il paraît que Sementini n'a pas cherché la magnésie et le nickel).

1814, 3 et 4 juillet. Grande chute de poussière noire au Canada, avec apparition de feu. L'événement était semblable à celui de 472. *Philos. Mag.*, vol. XLIV.

1814. La nuit du 27 au 28 octobre, dans la vallée d'Onéglia, près de Gênes, pluie rouge. *Giornale di Fisica*, T. I, p. 32.

1814, 5 novembre. On a trouvé dans le Doab, aux Indes, que chaque pierre tombée était dans un petit amas de poussière. *Phil. Mag.*

1815, vers la fin de septembre. La mer, au sud des Indes, était couverte de poussière sur une très-grande étendue, probablement à la suite d'une pareille chute. *Phil. Mag.*, juillet 1816.

1816, 15 avril. Neige rouge dans différens endroits de la partie septentrionale de l'Italie. *Giornale di Fisica*, etc., T. I, 1818, p. 473.

1819, 13 août, à Amherst, en Massachusets. A la suite d'un météore lumineux, il tomba une masse gélatineuse et puante. *Silliman' Journal*, II, 335.

1819, 5 septembre, à Studein, en Moravie, dans la juridiction de Teltsch, entre onze heures et midi, le ciel étant serein et tranquille, pluie de petits morceaux de terre provenant d'un petit nuage isolé et très-clair. *Hesperus*, novembre 1819; et *Ann. de Gilb.*, T. LXVIII.

1819, 5 novembre. Pluie rouge en France et en Hollande. *Ann. générales des sciences physiques.* (on a trouvé dans cette pluie du cobalt et de l'acide muriatique).

1819, en novembre, à Montréal et dans la partie sep-

tentrionale des Etats-Unis. Pluie et neige noires, accompagnées d'un obscurcissement du ciel extraordinaire, de secousses comme durant un tremblement de terre, de détonnations semblables à des explosions d'artillerie, et d'apparitions ignées, qu'on a prises pour des éclairs très-forts. *Ann. de chimie*, T. XV. Quelques personnes ont attribué le phénomène à l'incendie d'une forêt : mais le bruit, les secousses, etc., montrent que c'était un véritable météore, comme ceux de 472, de 1637, de 1762 et de 1814 (au Canada). Il paraît que les pierres noires et friables tombées à Alais, en 1806, étaient à peu près la même substance dans un état de coagulation plus avancé.

1821, 3 mai, à neuf heures du matin. Pluie rouge dans les environs de Giessen. M. le professeur *Zimmermann* ayant analysé le sédiment brun rougeâtre que cette pluie laissait, y a trouvé du chrôme, de l'oxide de fer, de la silice, de la chaux, du carbonne, une trace de magnésie et des parties volatiles, mais point de nickel.

1824, 13 août. Ville de Mendoza, dans la république de Buenos-Ayres. Poussière qui tombait d'un nuage noir. A une distance de 40 lieues, le même nuage se déchargea encore une fois. *Gazette de Buenos-Ayres*, du 1er novembre 1824 ».

Longueur des atomes. La dilatation que la chaleur fait éprouver aux corps qu'on soumet à son action, peut nous conduire à une limite inférieure du rapport de la plus grande longueur des atomes à leur plus petite épaisseur, et servir à prouver en partie l'hypothèse indiquée à la page 9. Nous prendrons pour exemple le mercure :

Soit n le nombre des atomes de ce métal qui entrent dans un volume v à l'état liquide, l la plus grande longueur d'un de ces atomes, et e sa plus petite épaisseur prise perpendiculairement à la longueur et en son milieu. Si on conçoit deux cônes ayant pour base commune un cercle dont le diamètre soit e, et dont les hauteurs prises ensemble égalent l, la

somme de ces cônes sera moindre qu'un atome, et égalera :

$$r\left(\frac{e}{2}\right)^2\left(\frac{l}{3}\right),$$

r désignant le rapport de la circonférence au diamètre. Ainsi, en multipliant cette quantité par n, on aura un produit qui sera moindre que le volume des n atomes qui entrent dans le volume v, et à plus forte raison que le volume v lui-même, puisqu'il se compose en partie de pores; on peut donc poser l'inégalité :

$$\frac{n r e^2 l}{12} < v;$$

en admettant l'homogénéité de la matière, il est facile de l'étendre encore. En effet, la quantité de matière contenue dans le volume de mercure v, n'est (*voy.* pag. 26) que les $\frac{1357}{2098}$ de celle que renfermerait un même volume de platine, et celle-ci est moindre que v, puisque le platine est encore poreux. En multipliant la quantité de matière contenue dans le volume v par $\frac{2098}{1357}$, on aura donc la quantité de matière contenue dans le platine, et en remplaçant v par $\frac{n r e^2 l}{12}$, on aura une quantité inférieure, ce qui permet évidemment de poser l'inégalité suivante :

$$\frac{20,98}{13,57} \cdot \frac{n r e^2 l}{12} < v.$$

Maintenant, si chaque atome avait la liberté de se mouvoir dans un cube ayant pour côté sa plus grande longueur l, il pourrait osciller sans rencontrer les atomes voisins; or, nous avons vu, page 65, que cela ne pouvait pas être : la somme de n cubes ayant pour côtés l sera donc plus grande que le volume *maximum* auquel le corps puisse parvenir. Ceci conduit à l'inéquation :

$$n l^3 > v . \frac{13,57}{D.}$$

D désignant la plus petite densité que le mercure puisse

rendre; la chaleur étant aussi forte que possible et la pression ussi faible qu'on voudra.

En la résolvant par rapport à v, elle devient :

$$\frac{n l}{13,57} \frac{D}{} > v,$$

t elle prouve que l'inégalité précédente ne cesse pas d'être raie quand on y remplace v par $\frac{n l^3 D}{13,57}$, quantité plus grande

$$\frac{20,98}{13,57} \cdot \frac{n r e^2 l}{12} < \frac{n l^3 D}{13,57},$$

t, supprimant les facteurs n et l qui sont communs aux deux umérateurs et la densité du mercure qui est en facteur dans s deux dénominateurs,

$$\frac{20,98}{12} \cdot r e^2 < l^2 D,$$

$$\text{ou : } l > e \sqrt{\frac{20,98}{12} \frac{r}{D}}$$

Cette formule est tout-à-fait générale, puisque la dente du mercure est disparue; il suffit, pour l'appliquer à un ıtre corps, de regarder D comme exprimant la plus petite ensité que ce corps puisse prendre. Cela vient de ce que nous ons admis l'homogénéité de la matière; dans l'hypothèse ontraire, on trouverait :

$$l > e \sqrt{\frac{13,57}{12} \frac{r}{D}}$$

ı, en général :

$$l > e \sqrt{\frac{d}{12} \frac{r}{D}}$$

désignant la plus grande densité que le corps considéré uisse prendre.

Nous ne considèrerons que la première formule; la densité : la vapeur de mercure n'est pas connue, mais on sait que

plus une substance est difficile à réduire en vapeur, et moins sa vapeur est dense. En prenant pour D la densité de la vapeur d'eau $\frac{1}{1700}$, on aura donc une quantité trop forte, le second membre de l'inégalité sera diminué et elle subsistera; mettant à la place de r sa valeur, effectuant tous les calculs, et prenant le second facteur du deuxième membre par défaut, on arrive à :

$$l > 96 \,.\, e.$$

Rien de plus facile que d'obtenir des résultats analogues pour les gaz et tous les corps dont on connaît la densité à l'état de vapeur; il ne reste même pas, comme pour le mercure, une petite incertitude sur la valeur de D. On prouve ainsi que les atomes des gaz ont leur plus grande longueur plus grande que 1000 fois leur plus petite épaisseur, résultat surprenant, mais qui n'en est pas moins certain.

OBSERVATIONS

sur la théorie de la chaleur.

La méthode que nous avons adoptée pour l'exposition des phénomènes de la chaleur, n'est pas celle que suit l'esprit humain quand il étudie la nature ; il constate d'abord les faits, puis il en déduit la théorie comme conséquence. Ici, au contraire, la théorie se trouve développée avant l'exposition des faits à laquelle elle conduit ; cette marche est moins naturelle et susceptible de moins de rigueur ; nous ne l'avons préférée qu'à cause de l'économie de temps qu'elle procure aux personnes qui se livrent à l'étude des élémens de physique. Il est à propos toutefois, avant d'abandonner ce sujet, de présenter en peu de mots les raisonnemens qui, par la méthode naturelle, conduisent à découvrir le mouvement oscillatoire des atomes, cette cause cachée de tant de merveilles.

L'observation des faits décrits depuis la page 33 jusqu'à la page 40, ne laisse déjà plus de doute sur la nature de la chaleur ; puisque ces faits prouvent que la chaleur augmente toutes les fois qu'on frotte, qu'on choque, qu'on combine chimiquement les corps, ou que par tout autre moyen on met leurs particules en mouvement, la chaleur ne peut être que du mouvement, car le mouvement ne saurait produire une substance. Un corps chaud ne contient donc pas d'autre matière que celle qu'il renferme quand il est froid, et la seule différence qu'il présente alors est un plus grand dégré de mouvement dans ses parties.

Sur ce point, il n'y a presque pas eu de partage parmi les physiciens, si ce n'est dans ces derniers temps où on a admis assez généralement que le plus ou moins grand dégré de chaleur consistait en la présence d'une quantité plus ou moins grande d'un fluide très-subtil et sans pesanteur sensible, auquel on a donné le nom de *calorique*. Parmi les savans les

plus distingués de notre époque, on en compte même plusieurs, au nombre desquels se trouve M. Thénard, qui n'adoptent cette opinion que parce qu'elle est commode pour l'exposition des faits; le célèbre chimiste dit à la page 35 de son ouvrage, en parlant du calorique, du fluide lumineux, du fluide électrique et du fluide magnétique :

« La qualité d'être impondérable rend douteuse, à la vé-
» rité, leur existence matérielle. Quoi qu'il en soit, nous
» en parlerons comme s'ils étaient des corps réels; mais nous
» n'affirmerons rien à cet égard, et nous ne préférons cette
» hypothèse à toute autre que parce qu'elle est plus commode
» pour exposer les faits. »

S'il n'y a eu qu'un sentiment sur la nature de la chaleur, si les physiciens l'ont presque tous regardée comme étant un mouvement particulier excité dans la matière, il n'en a pas été de même au sujet de la substance dans laquelle ce mouvement doit être placé :

Les uns ont pensé que les pores de tous les corps connus contiennent une matière très-subtile, invisible, incoërcible, impondérable, extrêmement élastique, et ont attribué à son mouvement la dissipation des parties qu'on observe souvent dans la combustion; ils admettaient que ce fluide n'avait besoin que d'être excité pour se mettre en mouvement en vertu de son ressort, et produire tous les phénomènes de la chaleur. (*Voyez* le traité de physique de l'abbé Nollet et les ouvrages auxquels il renvoie). Les progrès de la chimie ont forcé d'abandonner ce systême; les belles découvertes faites récemment sur la combustion ne permettent plus d'en expliquer vaguement les résultats. D'ailleurs, le ressort qu'on supposait à l'élément du feu aurait dû s'user en produisant des effets; et, comme il parait qu'il n'y a dans la nature aucune cause qui puisse comprimer le fluide igné après sa dilatation, l'univers eût été bientôt complètement refroidi, la cause du mouvement ayant cessé. Puis, les qualités qu'il fallait accorder à cette matière sont telles qu'on est porté à douter fortement de son existence, même avant d'avoir reconnu

que la théorie à laquelle elles conduisent est en opposition avec plusieurs des principaux phénomènes; outre qu'il est plus naturel de rechercher d'abord si les faits ne seraient pas les conséquences des propriétés bien constatées des corps qui nous sont connus, que d'en imaginer de nouveaux que nous ne pouvons ni coërcer, ni voir, ni sentir.

Les autres, et ce sont les seuls dont l'opinion n'éprouve pas dès le début des objections insurmontables, ont pensé qu'après avoir observé les principaux phénomènes de la chaleur, il est impossible de ne pas admettre qu'elle consiste en un mouvement particulier des atomes; mais personne n'a pu dire de quelle espèce est ce mouvement et quelle est la cause qui l'entretient : là commence la difficulté.

Pour la résoudre, il faut remarquer que les atomes ne changeant pas sensiblement de place quand la température reste la même, leur mouvement ne peut être qu'un mouvement de rotation, un mouvement de vibration ou un mouvement d'oscillation.

Or,

Le mouvement de rotation n'est pas admissible, car l'attraction mutuelle des atomes le changerait aussitôt en un mouvement d'oscillation s'il pouvait exister un instant, à moins que leur forme ne fût de révolution, et que leur rotation ne s'effectuât autour de l'axe; ce qui ne peut être, puisque, dans cette hypothèse, une augmentation de chaleur ou de mouvement ne produirait pas, comme on l'observe, une dilatation;

Et le mouvement de vibration doit aussi être rejeté, si on appelle ainsi celui qui consisterait en un mouvement de *va-et-vient* que chaque atome exécuterait entre d'autres atomes, en allant successivement de l'un à l'autre, de manière à passer alternativement à des positions comme A et A′ (*fig.* 165) : un pareil mouvement ne pourrait être produit que par une force agissant constamment, puisqu'il y aurait des changemens fréquens dans sa direction (*voyez* page 10), et l'attraction (les atomes, n'étant pas composés de parties, ne sont pas élastiques) qui est la seule force accé-

lératrice dont l'action se fasse sentir dans cette circonstance tendrait évidemment à l'anéantir, loin de le favoriser;

Donc *la chaleur est un mouvement d'oscillation que l'attraction perpétue*, car aucune autre force n'agit dans les corps d'une manière constante, et le mouvement d'oscillation ne peut subsister sans une force qui agisse constamment.

Ce fait une fois démontré, il est facile d'en déduire comme conséquence que *la surface des atomes est mathématiquement convexe*, ou, en d'autres termes, qu'elle est parfaitement polie, et qu'elle ne présente aucune partie rentrante : cela suit de ce que, si elle avait des parties rentrantes, ou si elle était raboteuse, le mouvement d'oscillation finirait par s'anéantir, ce qui n'a pas lieu.

C'est par ces raisonnemens que nous avons été porté à admettre la vérité de l'hypothèse sur laquelle repose notre théorie.

FIN DU TOME PREMIER.

TABLE.

PREMIÈRE PARTIE.

Des propriétés inhérentes à la matière.

ÉTENDUE, 5
Divisibilité. — Structure des corps, 6
MOBILITÉ, 9
IMPÉNÉTRABILITÉ, 10
ATTRACTION, 11

SECONDE PARTIE.

Des mouvemens perceptibles.

PESANTEUR, 17
Chute des graves, 18
Pendule, 21
Poids des corps, 22
Densités, 23

TROISIÈME PARTIE.

Des mouvemens imperceptibles et des mouvemens perceptibles qui en résultent.

MOUVEMENS ATOMIQUES, 29
DE LA CHALEUR, 32
SOURCES DE LA CHALEUR, 32
Actions mécaniques, 33
Changement d'état des corps, 36

Table des mélanges frigorifiques, 38
Combinaisons, 40
Actions moléculaires, 4
PROPAGATION DE LA CHALEUR, 41
Conducibilité, 44
Action à distance, 46
EFFETS DE LA CHALEUR, MOYENS EMPLOYÉS POUR LA MESURER, SES PRINCIPALES APPLICATIONS, 50
Dilatation, 51
— des solides, 52
— des liquides, 57
— des gaz, 59
Marche comparative des dilatations, 60
Trempe, 63
Différens états sous lesquels les corps se présentent, 64
Fluides, 64
Mobilité relative des particules des fluides, transmission des pressions, 66
Baromètre, 67
Variations du baromètre, 74
— de volume des fluides, 82
— dues à la pression, 82
Tension. — Tension maximum, 86
Ebullition, 92
Variations de volume des fluides par la chaleur, 97
— — des gaz par la pression, 97
Liquéfaction des gaz, 99
Mélanges de gaz et de vapeurs, 100
Maximum de densité de l'eau, 102
Elasticité de compression, 103
— de traction, 104
— de forme, 104
Force d'inertie, 105
MOYENS DE MESURER LA CHALEUR, 106
Thermomètres solides, 107
— liquides, 110
— à air, 119
— à maximum et à minimum, 122
Chaleurs spécifiques ou rapports entre les quantités de mouvemens nécessaires pour élever de 1° les températures de 1 kilogramme de divers corps, 124
Calorimètre, 125
Méthode des mélanges, 127
Calorimètre de Rumfort, 128

APPLICATIONS DE LA CHALEUR, 132
Applications de la dilatation des corps, 133
Corrections barométriques, 142
Chauffage, 142
Causes qui font fumer les cheminées, et remèdes pour les empêcher de fumer, 145
Cheminée de Franklin, 160
— de Désarnod, 161
Poêles, 162
Poêle fumivore, 164
Poêle économique de M. J. B. Bérard, 167
Chauffage à la vapeur, 172
Fourneaux, 178
Assainissement, 181
Distillation, 183
Applications du principe de la transmission des pressions, 204
Hémisphères de Magdebourg, 205
Fontaine intermittente, 207
Syphon, 208
Pompes, 210
Bélier hydraulique, 221
Pressions supportées par les parois des vases qui contiennent des liquides, 223
Presse hydraulique, 228
Tubes capillaires, 231
Principe d'Archimède, 241
Densités des corps, 243
Aréomètres, 243
Jet d'eau, 249
Puits artésiens, 250
Applications de la tension des gaz. Machine pneumatique, 251
Expériences diverses, 257
Machine à comprimer l'air, 261
Fontaine de compression, 262
Fusil à vent, 263
Fontaine de Héron, 264
Eolypile, 265
Machines à vapeur, 265
Applications de l'élasticité. Compression des liquides, 270
Résistance des solides à l'écrasement, 274
Ténacité des corps, 276
Force de torsion, 278
ACOUSTIQUE, 283

Vitesse du son, 28[illegible]
Ondulations excitées dans l'air par les vibrations des corps sonores, 29[illegible]
Qualités du son, 29[illegible]
Réflexion du son. Echos, 29[illegible]
Action des ondes sonores sur les corps solides, 30[illegible]
Audition, 30[illegible]
Gamme, 30[illegible]
Vibrations des corps solides. Cordes vibrantes, 304
Membranes et surfaces vibrantes, 306
Vibrations des fluides, 31[illegible]
Vibrations dans les tuyaux sonores, 31[illegible]
— des anches, 321
DISTRIBUTION DE LA CHALEUR SUR LA TERRE, 32[illegible]
Températures de l'air vers la surface de la terre, 32[illegible]
— — à diverses hauteurs, 33[illegible]
Limites des neiges perpétuelles, 33[illegible]
Températures à diverses profondeurs au-dessous de la surface de la terre, 33[illegible]
Températures des eaux, 34[illegible]
Volcans, 35[illegible]
ACTION DU SOLEIL SUR LA TERRE, 35[illegible]
HYGROMÉTRIE, 36[illegible]
Hygromètre à cheveu, 36[illegible]
Hygromètre à capsule, 36[illegible]
Rosée, 36[illegible]
Serein, 36[illegible]
VENTS, 36[illegible]
TROMBES, 36[illegible]
VAPEUR VÉSICULAIRE, 374
Brouillards. Nuages, 37[illegible]
Pluie, 37[illegible]
Neige. Grêle, 37[illegible]
CHUTE DE DIVERSES SUBSTANCES VENANT DE L'ATMOSPHÈRE, 3[illegible]
Aërolithes, 38[illegible]
Matières diverses, 38[illegible]
LONGUEUR DES ATOMES, 3[illegible]
OBSERVATIONS SUR LA THÉORIE DE LA CHALEUR, 3[illegible]

FIN DE LA TABLE.

Fautes essentielles à corriger.

1er VOLUME.

Note (1), page 13, ligne 2, au lieu de $\frac{mf}{d^{1000000}}$; *lisez :* $\frac{f}{000000} - \frac{mf}{d^{10000}}$

Même note, 3e ligne, au lieu de le deuxième terme $\frac{mf}{d^{1000000}}$ *lisez* : les deux derniers termes.

Même note, ligne 6, *après* le deuxième ; *ajoutez* : et le sixième.

Note (2), page 13, ligne dernière, au lieu de 9426 ; *lisez* : 9515.

Page 21, ligne 1, après se compose ; *lisez : (fig.* 4).

27, — 13, au lieu de 0,69 ; *lisez* : 0,069.

30, — 26, au lieu de circonférences ; *lisez :* circonstances.

32, — avant-dernière ligne, au lieu de parties ; *lisez :* propriétés.

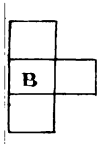
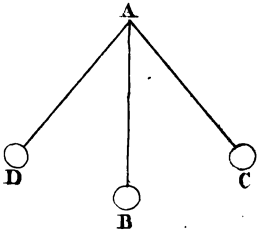
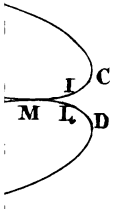


Fig. 4.





8.

Fig. 9.

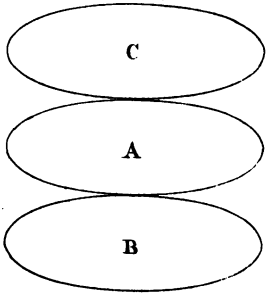


Fig. 14.

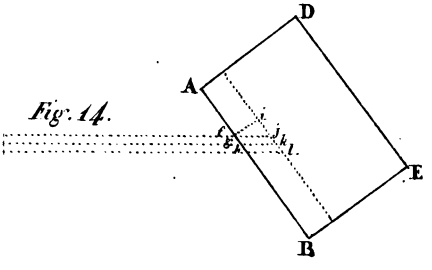


Fig. 18.

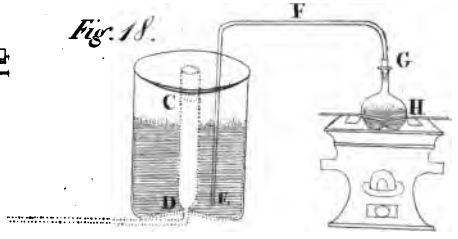


Fig. 24.

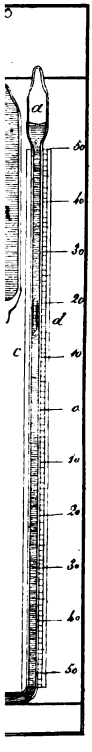


Fig. 19.

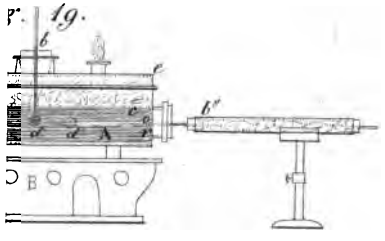


Fig. 22.

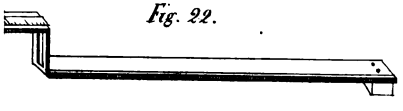
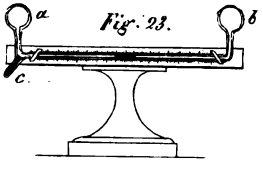


Fig. 23.



Reunes.

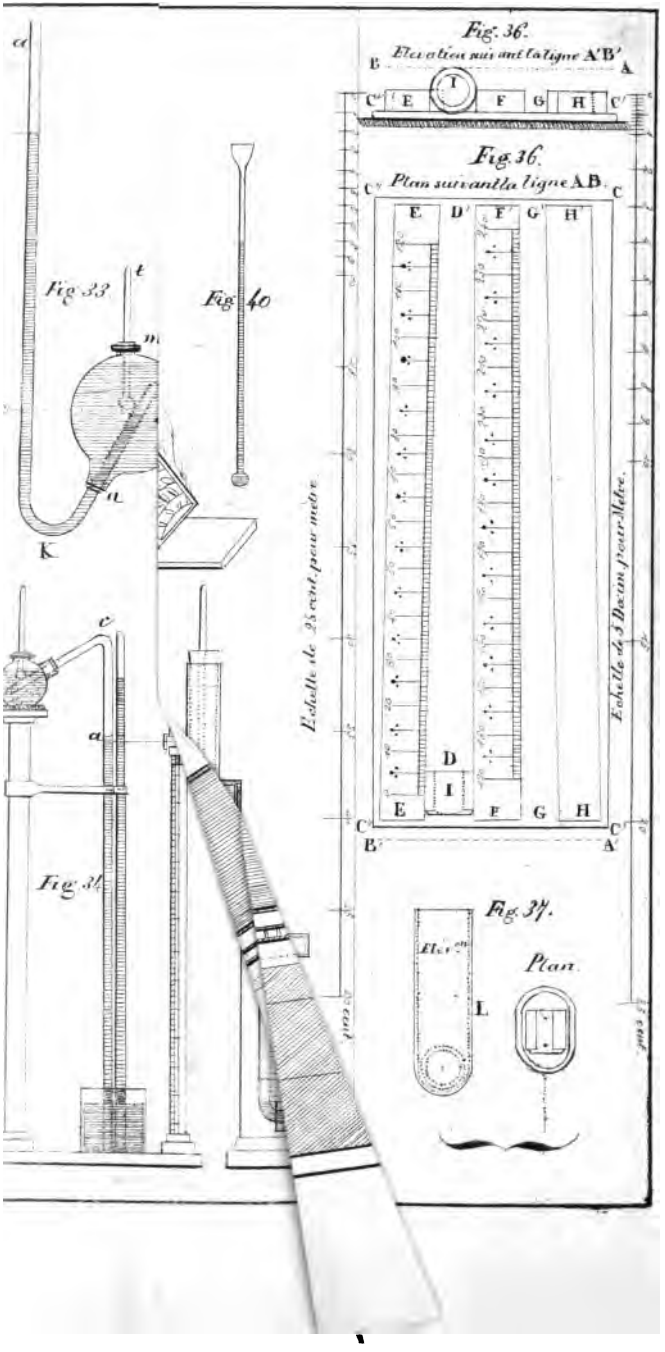
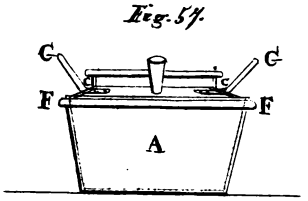
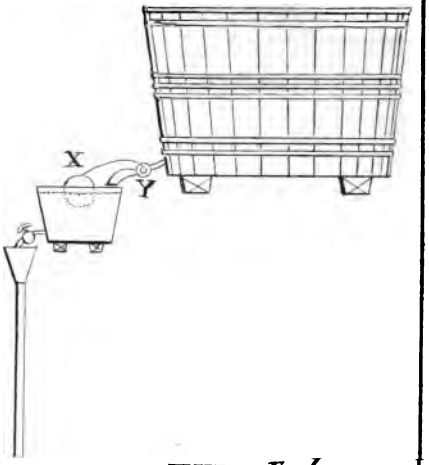


Fig. 36.
Elevation suivant la ligne A'B'
B
A
C'
E
I
F
G
H
C'
Fig. 36.
Plan suivant la ligne AB.
C
C'
E
D'
F'
G'
H'
D
I
E
F
G
H
C'
C
B'
A'
Echelle de 25 cent. pour mètre.
Echelle de 3 Decim. pour Mètre.
Fig. 33
t
m
a
K
Fig. 40
c
a
Fig. 34
Fig. 37.
Elev.
L
Plan

Pl. IV.





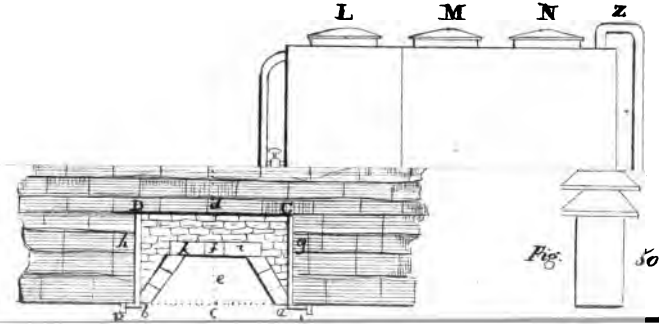
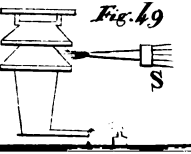
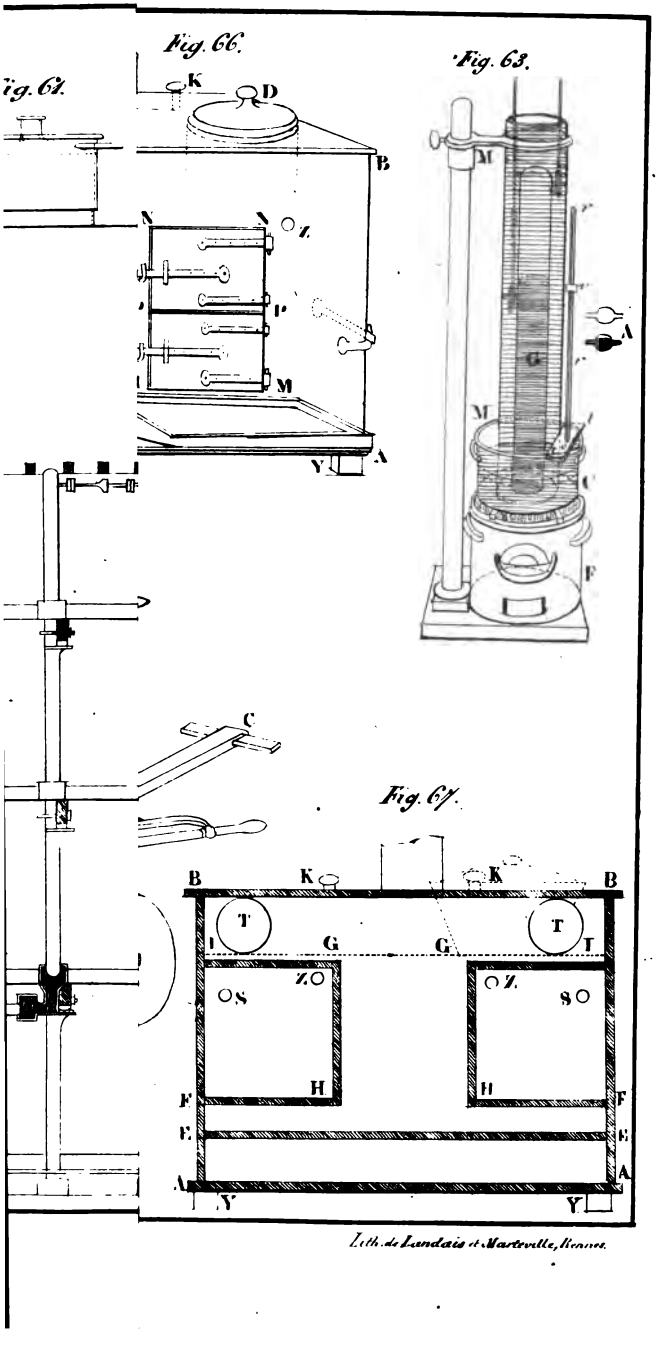
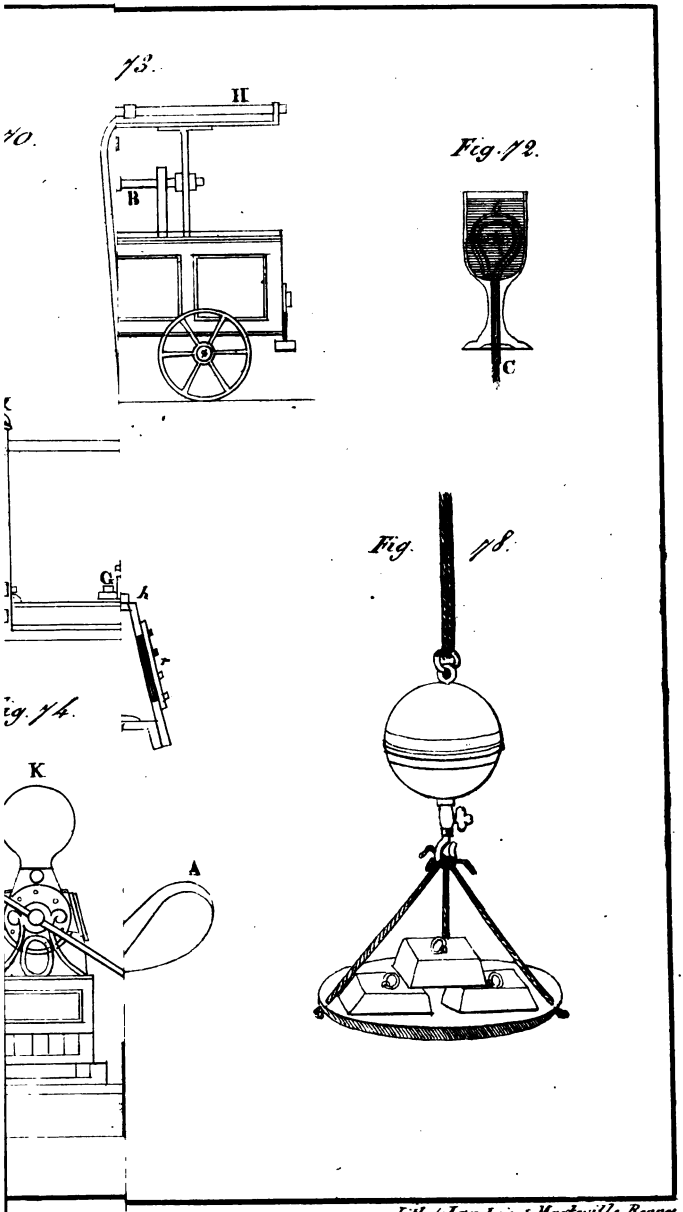


Fig. 50.





Lith. de Landais et Martinville, Rennes.



Lith. de Landais et Marteville, Rennes.

Fig. 84.

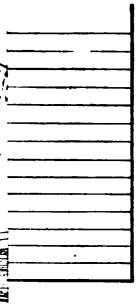


Fig. 85.

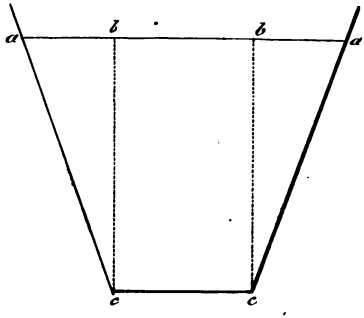


Fig. 87.

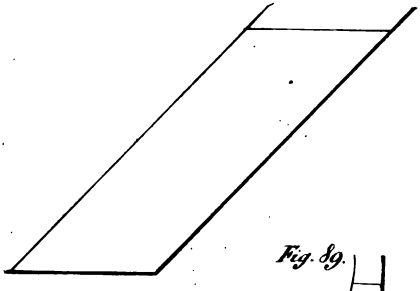
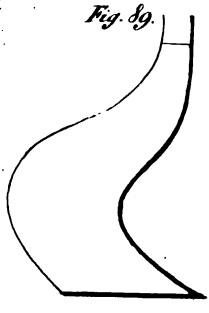


Fig. 89.



Lith. de Landais et Marteville, Rennes.

Fig. 93.

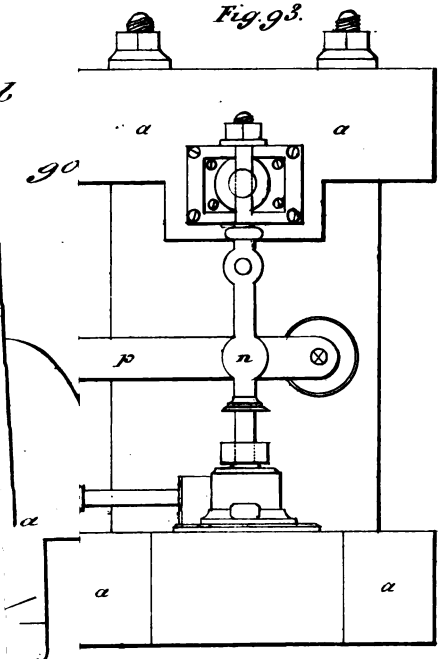
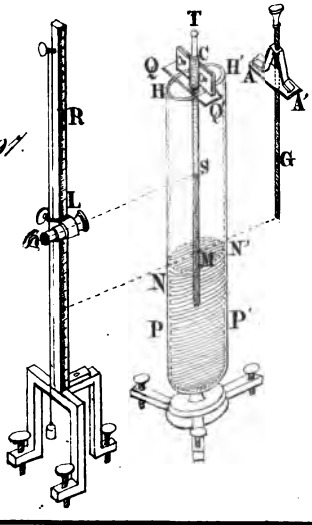


Fig. 97.



Lith. de Landais et Marteville, Rennes.

Fig. 98.

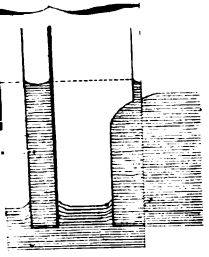
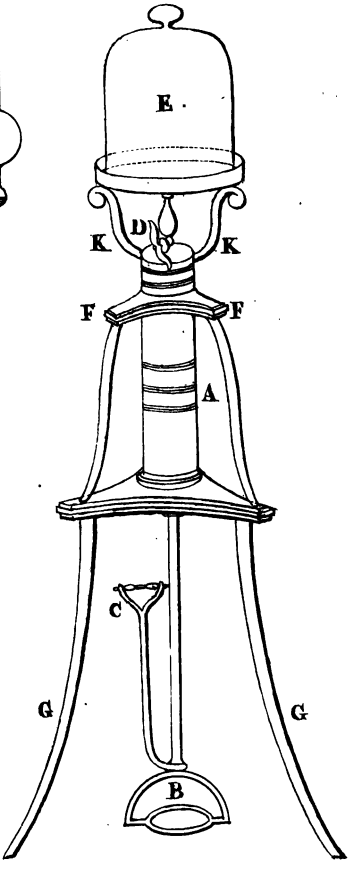


Fig. 108.

Fig. 112.



5.

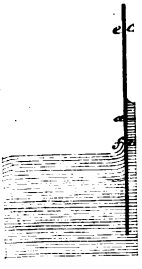


Fig. 109.

Fig. 111.

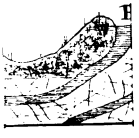
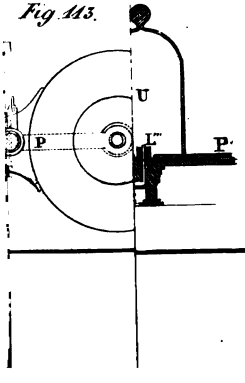
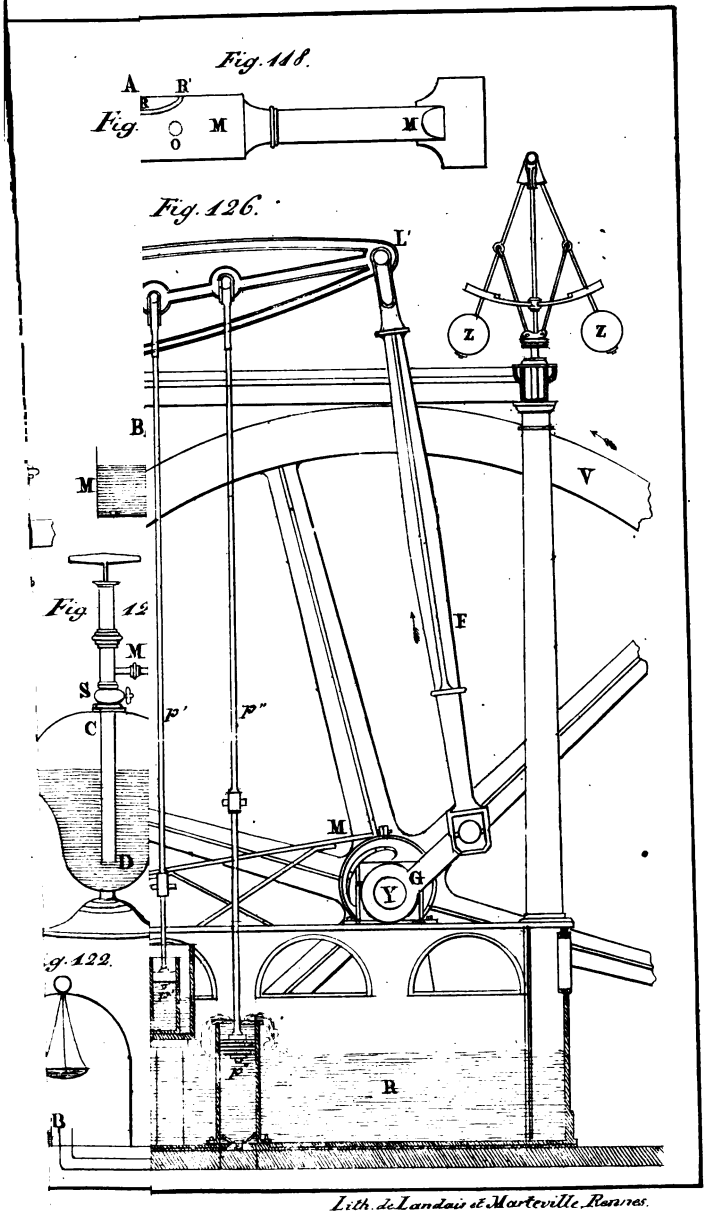


Fig. 113.



Lith. de Lancelot à Martouillé. Rennes.



Lith. de Landais et Marteville Rennes.

Fig. 130.

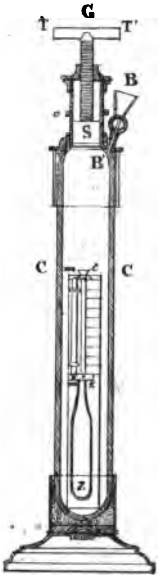


Fig. 131.

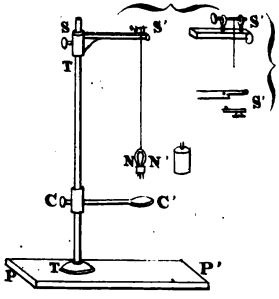


Fig. 133.

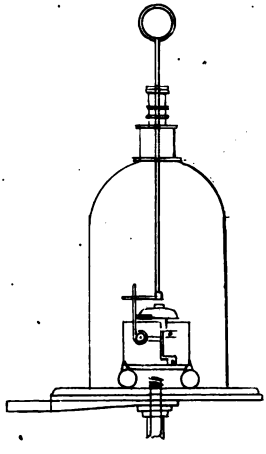
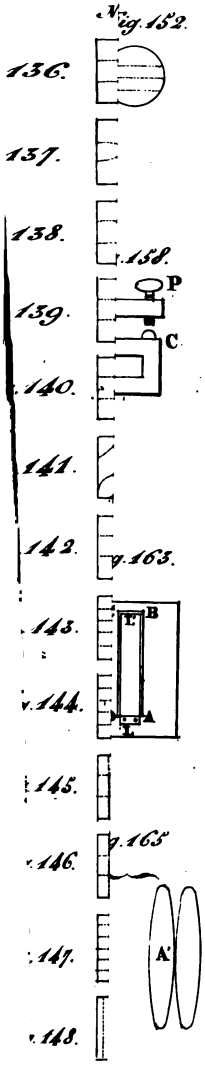
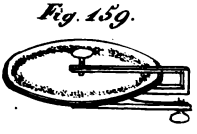
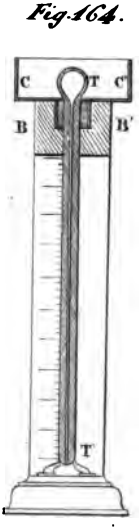


Fig. 134.

Lith. de Landais et Marteville, Rennes.







Lith. de Landais et Marteville, Rennes.

95 8

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.

NER
SEP 5 1993
ED

900